



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**Avaliação de tecnologias para monitorizar a
variabilidade espacial do solo e a evolução do
padrão espacial da pastagem ao longo do ciclo
vegetativo**

João Rodrigo Gomes Santana

**Orientação: Professor Doutor João Manuel Pereira
Ramalho Serrano**

Mestrado em Engenharia Zootécnica

Dissertação

Évora, 2017



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**Avaliação de tecnologias para monitorizar a
variabilidade espacial do solo e a evolução do
padrão espacial da pastagem ao longo do ciclo
vegetativo**

João Rodrigo Gomes Santana

**Orientação: Professor Doutor João Manuel Pereira
Ramalho Serrano**

Mestrado em Engenharia Zootécnica

Dissertação

Évora, 2017

“O passado, mesmo quando menos feliz foi a nossa garantia. O presente é a nossa exigência. O futuro é o nosso destino”, citado por Marcelo Rebelo de Sousa, no discurso presidencial nas comemorações do Dia de Portugal, de Camões e Comunidades, dia 10 de Junho de 2017.

Agradecimentos

A realização desta dissertação só foi possível graças ao contributo de algumas pessoas, às quais sinto obrigação de agradecer, pois sem elas nunca teria concluído este trabalho.

Ao Professor João Manuel Pereira Ramalho Serrano, meu orientador, pelos 5 anos de ensino nesta instituição, pela escolha do tema, por toda a paciência nas correcções da dissertação, pela sua boa vontade, por todas as sugestões para melhorar os meus conhecimentos, bem como pela simpatia e acompanhamento incansável ao longo deste trabalho.

Ao meu colega Pedro Sobral, pela sua ajuda na recolha dos dados de campo durante o ensaio.

Ao Professor Shakib Shahidian, não só pelos 5 anos de ensino, como pela forma simpática com que sempre me tratou e pela sua preciosa ajuda na recolha de dados de campo e pelo apoio durante a realização deste trabalho.

À Professora Maria Isabel Ferraz de Oliveira, pela gentileza em disponibilizar a Quinta da Silveira para a realização dos ensaios de campo.

À Professora Maria Elvira Sales Baptista, pelos 5 anos de ensino, pela forma cordial com que sempre me tratou e pelo apoio prestado ao longo deste trabalho.

Quero agradecer à Eng^a Maria Graça Machado e à D^a Margarida Romão pelo excelente trabalho desenvolvido no laboratório de nutrição animal, onde o material vegetal foi moído e examinado quimicamente.

Agradeço ao Professor José Rafael Marques da Silva pelo apoio na elaboração dos gráficos em SIG fundamentais para este trabalho.

Agradecer ao meu primo Jorge Santana pela sua preciosa ajuda no tratamento dos dados recolhidos pela câmara térmica.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos e família, em especial ao meu pai e à minha avó Isaurinda pelo amor, esforço, motivação e apoio nas minhas decisões, sem eles não seria a pessoa que sou hoje.

Resumo

O objectivo principal deste trabalho consistiu na avaliação de tecnologias com potencial para monitorizar a variabilidade do solo, da produtividade e da qualidade da pastagem. Foram avaliados quatro tipos de sensores: um medidor de condutividade eléctrica aparente do solo ("*DUALEM 1S*"), uma câmara térmica de infravermelhos ("*ThermCAM*"), um sensor óptico activo ("*OptRx®*") e uma sonda de capacitância ("*Grassmaster II*"). O processo de amostragem foi realizado entre Março e Junho de 2016 numa parcela de pastagem natural com 7 ha. Os resultados obtidos revelaram: (i) o interesse da medição da condutividade eléctrica aparente do solo para efeitos de estabelecimento de zonas de amostragem; (ii) a capacidade da câmara de infravermelhos para identificar a variabilidade da temperatura da superfície da pastagem; (iii) a forte correlação entre a capacitância e a produtividade e entre o NDVI e os teores de proteína bruta da pastagem, especialmente no início da Primavera.

Palavras-chave: agricultura de precisão, sensores, pastagem Mediterrânica, monitorização, variabilidade.

Evaluation of technologies for monitoring the spatial variability of soil and the evolution of the spatial pattern of pasture along the vegetative cycle

Abstract

The main aim of this work was to evaluate technologies with potential to monitor the variability of soil, pasture productivity and quality. Four types of sensors were evaluated: an apparent electrical conductivity meter ("*DUALEM 1S*"), an infrared thermal camera ("*ThermCAM*"), an active optical sensor ("*OptRx*[®]") and a capacitance probe ("*Grassmaster II* "). The sampling process was carried out between March and June 2016 in a 7 ha natural pasture plot. The results showed: (i) the interest of measuring the apparent electrical conductivity of the soil for the purpose of establishing sampling areas; (li) the ability of the infrared camera to identify the variability of the pasture surface temperature; (lii) the strong correlation between capacitance and productivity and between NDVI and crude protein levels of pasture, especially in early spring.

Keywords: precision agriculture, sensors, Mediterranean pasture, monitoring, variability.

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice de figuras	viii
Índice de quadros	x
Lista de abreviaturas	xi
1 - Introdução	1
1.1 - Objectivos	2
2 - Pastagens.....	3
2.1 - Importância das pastagens nos ecossistemas agrários.....	3
2.2 - Ciclo vegetativo das pastagens de sequeiro.....	3
2.3 - Melhoramento de pastagens de sequeiro no Alentejo.....	4
3 - Agricultura de precisão.....	6
3.1 - Conceito e enquadramento.....	6
3.2 - Tecnologias de agricultura de precisão utilizadas na monitorização de pastagens.....	8
3.2.1 - Sistema de navegação global por satélite (GNSS).	8
3.2.2 - Sistemas de informação geográfica (SIG)	9
3.2.3 - Monitorização da variabilidade do solo.....	10
3.2.3.1 - Medidor da condutividade eléctrica aparente.....	10
3.2.4 - Avaliação da produtividade e da qualidade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo.....	12
3.2.4.1 - Sensor óptico.....	12
3.2.4.2 - Sonda de capacitância	13
3.2.4.3 - Câmara térmica de infravermelhos.....	14
3.2.5 - Gestão diferenciada da fertilização	16
3.2.5.1 - Tecnologia de aplicação variável.....	16
3.2.6 - Monitorização do pastoreio animal.....	17
4 - Materiais e métodos.....	18
4.1 - Local de estudo.....	18

4.2 - Caracterização climática	18
4.3 - Equipamentos utilizados.....	20
4.4 - Metodologia do ensaio	24
4.4.1 - Recolha de dados de campo	24
4.4.2 - Caracterização laboratorial do material vegetal.....	25
4.5 - Tratamento estatístico	26
5 - Resultados e discussão	27
5.1 - Condutividade eléctrica aparente do solo.....	27
5.2 - Produtividade da pastagem.....	27
5.3 - Parâmetros medidos por sensores próximos.....	34
5.3.1 - Índice de vegetação - NDVI	35
5.3.2 - Capacitância	35
5.3.3 - Temperatura	38
5.4 - Parâmetros de qualidade da pastagem.....	40
5.5 - Análise de correlação entre os parâmetros medidos pelos sensores e os parâmetros da pastagem	48
5.5.1 - Correlação entre a capacitância e os parâmetros de produtividade da pastagem.....	48
5.5.2 - Correlação entre o NDVI, a produtividade, a qualidade e a capacitância da pastagem	50
6 - Conclusões.....	52
7 - Referências bibliográficas.....	54

Índice de figuras

Figura 1 - Curvas de crescimento anual da pastagem, em Kg MS/ha/mês, nas condições de sequeiro Mediterrânico em quatro anos típicos (adaptado de Efe Serrano, 2006). ...	5
Figura 2 - Efeito do melhoramento das pastagens Mediterrânicas por incremento de leguminosas (adaptado de Efe Serrano, 2006).	6
Figura 3 - Diagrama explicativo de um ciclo geral de agricultura de precisão (adaptado de Wrest Park History Contributors, 2009).	8
Figura 4 - Diagrama representativo do funcionamento de um sistema de informação geográfica (adaptado de Cunha, 2009).	10
Figura 5 - Sensor “Veris 2000 XA”	11
Figura 6 - Sensor “DUALEM 1S”	12
Figura 7 - Arnês com bolsa acoplada para fixação do receptor GNSS.	17
Figura 8 - Local de estudo (“Quinta da Silveira”): à esquerda, fotografia aérea da parcela com 47 pontos de amostragem; à direita, mapa altimétrico (adaptado de: Serrano <i>et al.</i> , 2016a).	19
Figura 9 - Diagrama termopluviométrico do trinténio 1981-2010 para a Estação Meteorológica de Évora.	20
Figura 10 - Diagramas termopluviométricos alusivos aos anos agrícolas 2014/2015 (<i>em cima</i>) e 2015/2016 (<i>em baixo</i>) para a Estação Meteorológica de Évora.	21
Figura 11 - Comparação da precipitação acumulada entre os anos agrícola 2014-2015 e 2015-2016 e o trinténio 1981-2010.	22
Figura 12 - Sensor óptico (“OptRx®”), receptor GNSS (“Trimble”) e bateria portátil utilizados nos ensaios de campo.	22
Figura 13 - Câmara térmica de infravermelhos utilizada nos ensaios de campo.	23
Figura 14 - Sonda de capacitância “Grassmaster II” utilizada nos ensaios de campo. ...	23
Figura 15 - Operador na recolha de dados com o sensor óptico “OptRx®”	24
Figura 16 - Zonas homogéneas constituídas para efeitos da simplificação do processo de avaliação da qualidade da pastagem.	26
Figura 17 - Mapa da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a), em mS/m, na Quinta da Silveira, em Junho de 2015.	28

Figura 18 - Evolução da produtividade média da pastagem, em termos de Kg de matéria verde (MV) e matéria seca (MS) por hectare na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.....	30
Figura 19 - Mapas da produtividade da pastagem, em termos de kg de matéria verde (MV)/ha, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).....	31
Figura 20 - Mapas da produtividade da pastagem, em termos de kg de matéria seca (MS)/ha, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).....	32
Figura 21 - Mapas da humidade da pastagem (HP), em percentagem, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).	33
Figura 22 - Evolução do índice de vegetação NDVI médio na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.	36
Figura 23 - Mapas ilustrativos da variação temporal e espacial do NDVI, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).	37
Figura 24 - Evolução da capacitância (CMR) média na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.	38
Figura 25 - Mapas ilustrativos da variação temporal e espacial da capacitância, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).	39
Figura 26 - Evolução da temperatura média (T_{iv} , em °C) medida pela câmara de infravermelhos na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.	41
Figura 27 - Evolução espacial da temperatura da pastagem medida pela câmara térmica de infravermelhos (T_{iv}) em °C, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).....	42
Figura 28 - Evolução da qualidade da pastagem, em termos de cinzas totais (CT), proteína bruta (PB) e fibra (NDF), em % da matéria seca (MS), na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.	43
Figura 29 - Mapas da variação espacial das cinzas totais (CT, em % da MS), nas treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).....	44
Figura 30 - Mapas da variação espacial da proteína bruta (PB, em % da MS), nas treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).....	45
Figura 31 - Mapas da variação espacial da fibra (NDF, em % da MS), nas treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).	46

Índice de quadros

Quadro 1 - Produtividade da pastagem, em termos de matéria verde (MV) e matéria seca (MS), em kg/ ha, no conjunto dos 47 pontos de amostragem na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.	29
Quadro 2 - Parâmetros medidos pelos sensores próximos no conjunto dos 47 pontos de amostragem na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.....	34
Quadro 3 - Evolução dos parâmetros de qualidade da pastagem, em % da matéria seca (MS), no conjunto das treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.	43
Quadro 4 - Coeficientes de correlação (“r”) entre parâmetros de qualidade da pastagem (cinzas totais, CT; proteína bruta, PB; e fibra, NDF), entre Março e Junho de 2016.	47
Quadro 5 - Coeficientes de correlação (“r”) entre a capacidade e os parâmetros de produtividade da pastagem (matéria verde, MV e matéria seca, MS), entre Março e Junho de 2016.	49
Quadro 6 - Coeficiente de correlação (“r”) entre o NDVI e os parâmetros da pastagem (produtividade, qualidade e capacidade) entre Março e Junho de 2016.	50

Lista de abreviaturas

AP - Agricultura de precisão

CMR - Capacitância

CT - Cinzas totais

CV - Coeficiente de variação

CE_a - Condutividade eléctrica aparente do solo

GNSS - *Global navigation satellite system*

GPS - *Global position system*

ha - Hectare

Kg - Quilograma

MS - Matéria seca

MV - Matéria verde

NDF - *Neutral detergent fiber*

NDVI - *Normalized difference vegetation index*

PB - Proteína bruta

SIG - Sistemas de informação geográfica

VRT - Tecnologia de aplicação variável

T_{iv} - Temperatura medida pela câmara térmica de infravermelhos

1 - Introdução

A intensificação agrícola do passado foi baseada no uso crescente de *inputs* industriais, tais como adubos químicos, pesticidas, energia e água de rega, utilizados para transformar o meio agronómico e torná-lo mais favorável ao crescimento de meia dúzia de variedades de plantas geneticamente melhoradas. No entanto, esta intensificação alcançou o desejado aumento de produtividade da terra cultivada, mas à custa de um uso cada vez mais ineficiente destes *inputs*, de que resultaram perdas e por sua vez ampliaram as emissões poluentes de nitratos, fosfatos, gases com efeito de estufa e pesticidas persistentes, e aceleraram o esgotamento de recursos naturais úteis, como a água, o solo, a biodiversidade, a energia e múltiplos serviços proporcionados pelos ecossistemas.

Actualmente, a agricultura enfrenta dois grandes desafios: (i) a necessidade de aumentar a produção de alimentos em resposta ao crescimento mundial da população, e (ii) melhorar a eficiência de utilização dos factores de produção com o duplo objectivo de obter vantagens económicas e reduzir o impacto ambiental da actividade agrícola. É neste contexto que a “agricultura de precisão” (AP) emerge, fazendo uso de sensores electrónicos, sistemas globais de navegação por satélite (GNSS, “*global navigation satellite systems*”), sistemas de informação geográfica (GIS, “*geographical information systems*”) e tecnologias de taxa variada (VRT, “*variable rate technology*”) (Braga e Pinto, 2011; Serrano *et al.*, 2014), procurando otimizar a utilização dos recursos naturais. Na prática, o que diferencia a AP do conceito geral de agricultura é a componente de gestão de variabilidade espacial quer da produtividade quer dos recursos. Ou seja, na AP é dada grande ênfase à variabilidade espacial dos recursos, dos factores de produção e da produtividade/qualidade, de forma que a sua gestão garanta melhores indicadores físicos, económicos e ambientais das parcelas e das explorações agrícolas (Braga e Pinto, 2011). A importância das pastagens é hoje reconhecida na protecção do meio ambiente, na conservação da biodiversidade e dos recursos naturais, na prevenção dos fogos florestais, no combate à erosão do solo, no sequestro de dióxido de carbono (CO₂), na melhoria da fertilidade dos solos, na saúde e no bem-estar animal (Barreto, 2015).

Esta importância relevante justifica a aplicação de tecnologias adequadas face à diversidade dos padrões relacionados com a variabilidade do solo e da cultura, constituindo assim um pilar no apoio à tomada de decisão na empresa agrícola (Serrano *et al.*, 2014).

1.1 - Objectivos

O objectivo principal desta dissertação consistiu em avaliar a importância de ferramentas expeditas na monitorização da variabilidade espacial do solo e a evolução do padrão espacial de uma pastagem permanente ao longo do ciclo vegetativo, factor fundamental no apoio à tomada de decisão e na gestão do ecossistema Mediterrânico de montado “solo-plantas-animais”. As ferramentas utilizadas foram receptores GNSS, uma sonda de capacitância (“*Grassmaster II*”), um sensor de indução electromagnética (“*Dualem 1S*”), um sensor óptico activo (“*OptRx®*”) e uma câmara térmica de infravermelhos (“*ThermCAM*”).

2 - Pastagens

2.1 - Importância das pastagens nos ecossistemas agrários

As pastagens são culturas ou comunidades de plantas, geralmente herbáceas, aproveitadas pelos animais em pastoreio, predominantemente, no próprio local em que crescem (Barros e Freixial, 2012). As pastagens (ou prados) podem ser permanentes ou temporárias. São permanentes quando têm uma longa duração, tanto quanto o seu estado de conservação e produtividade o permitam, sendo temporárias quando estão colocadas em rotações com outras culturas agrícolas, tendo portanto uma duração mais curta e pré-determinada (Moreira, 2002; Efe Serrano, 2006).

Segundo os resultados de Lopes *et al.* (1998), as pastagens têm um papel importante na protecção do solo contra a erosão hídrica através de um menor escoamento de água, conduzindo a maiores taxas de infiltração. Outros papéis importantes das pastagens são o fornecimento de azoto ao solo e, consequentemente, às culturas da rotação; permitir a quebra do ciclo de doenças e pragas; melhor controlo das infestantes; e a diversificação da produção de uma empresa agrícola (Moreira, 2002; Crespo, 2011). A pastagem é caracterizada pela dinâmica de transferências de nutrientes resultantes do pastoreio animal (Serrano *et al.*, 2014; 2015), sendo este o catalisador, uma vez que recicla o material vegetal (Carvalho *et al.*, 2010).

Assim, a agricultura e o mundo rural em geral são hoje guardiões da paisagem e dos recursos naturais (do solo, da água e da diversidade biológica), onde as pastagens fazem parte da estratégia básica da sua conservação (Sequeira, 1997).

2.2 - Ciclo vegetativo das pastagens de sequeiro

As condicionantes do meio físico (clima, solo e relevo) determinam as possibilidades de cultivo de pastagens, bem como as suas potencialidades produtivas (Moreira, 2002; Murray *et al.*, 2007). Segundo a classificação de Köppen, em Portugal Continental predomina o clima Mediterrânico (Cs), onde ocorrem chuvas concentradas principalmente durante o Inverno, sendo o Verão seco. Segundo Efe Serrano (2006),

no clima Mediterrânico a produtividade das pastagens de sequeiro reflecte principalmente a repartição da precipitação ao longo do ano. Segundo este autor a má distribuição das chuvas e a sua discordância com as temperaturas só podem originar baixas e irregulares produções herbáceas (Figura 1), não só no Alentejo mas em qualquer região de influência deste clima. Nas condições de clima Mediterrânico encontramos duas fases críticas para o desenvolvimento da pastagem: no período de Inverno, apesar de haver humidade no solo em resultado da precipitação que se concentra nesta época do ano, os dias ficam mais curtos e as temperaturas mínimas descem a valores inferiores a 10 °C; por outro lado, no período de Verão (especialmente nos meses de Julho e Agosto) a conjugação de temperaturas extremamente elevadas (máximas próximas dos 40 °C) e ausência de precipitação induzem situações de stress hídrico nas plantas (Barreto, 2015). As épocas intercalares (Outono e Primavera) conduzem a dois picos de produção (Figura 1). No Outono em termos de crescimento e quantidade, a erva vai aparecendo e evoluindo após as primeiras chuvas, com a ocorrência de um ligeiro pico de produção. Na Primavera, a partir dos meses de Março/Abril, a humidade, a temperatura e a luz solar favorecem o crescimento e o desenvolvimento da pastagem, atingindo-se o pico máximo de produção.

2.3 - Melhoramento de pastagens de sequeiro no Alentejo

O melhoramento das pastagens permanentes de sequeiro, típicas do Alentejo, é proporcionado tradicionalmente pela introdução de leguminosas em consociação com gramíneas e outras espécies (pastagens biodiversas) e pela aplicação homogénea de fertilizantes fosfatados (Efe Serrano, 2006; Serrano *et al.*, 2014; 2015). De acordo com Efe Serrano (2006), as leguminosas permitem aumentar o valor proteico da pastagem, para além de possibilitarem a incorporação de azoto atmosférico no solo (Figura 2). Segundo Crespo (2011), o uso de misturas ricas em leguminosas em pastagens e forragens beneficia de forma notável a fertilidade do solo, com reflexos positivos sobre o rendimento das culturas que lhe sucedem numa rotação. As leguminosas são assim o motor do melhoramento das pastagens, desde que seja assegurado um eficaz funcionamento da simbiose com o “*Rizóbium*” (Moreira, 2002).

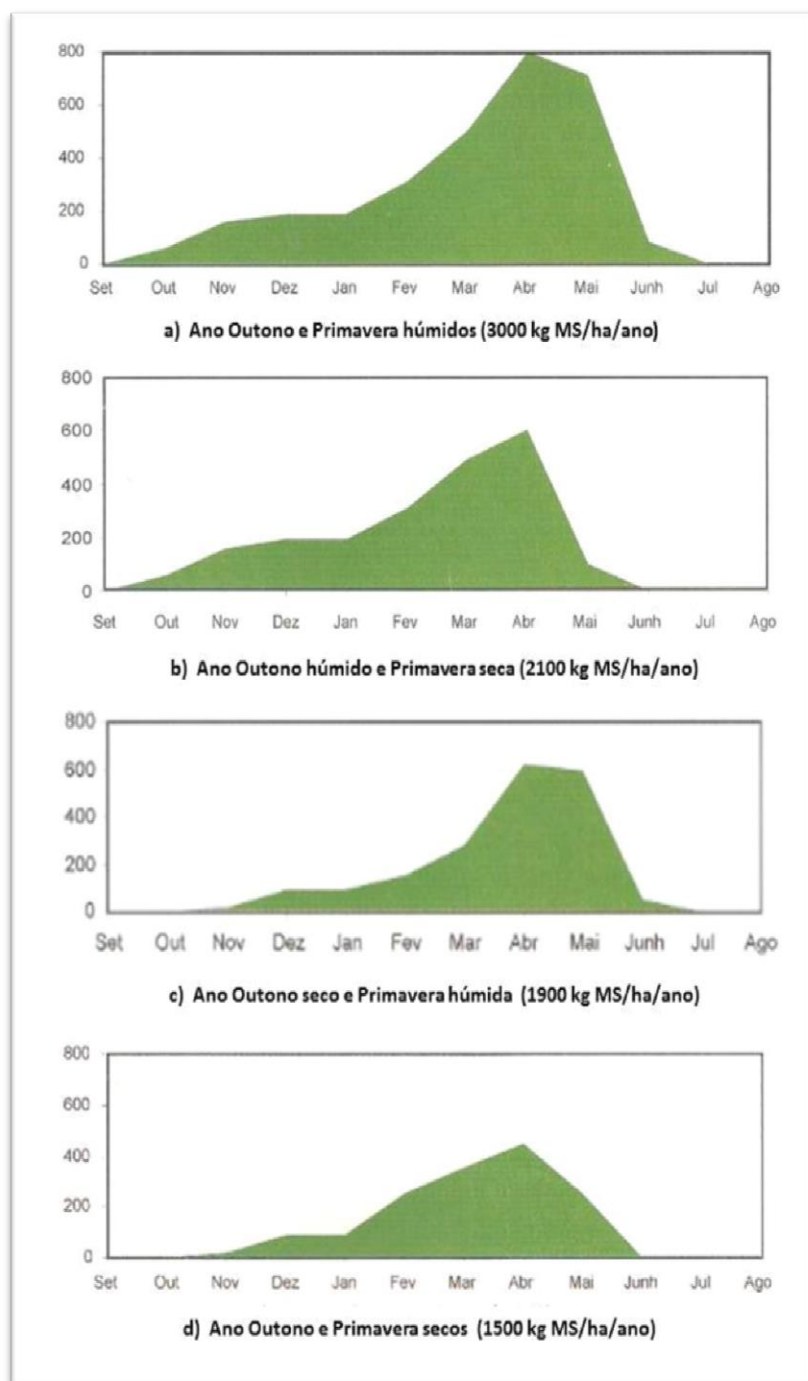


Figura 1 - Curvas de crescimento anual da pastagem, em kg MS/ha/mês, nas condições de sequeiro Mediterrânico em quatro anos típicos (adaptado de Efe Serrano, 2006).

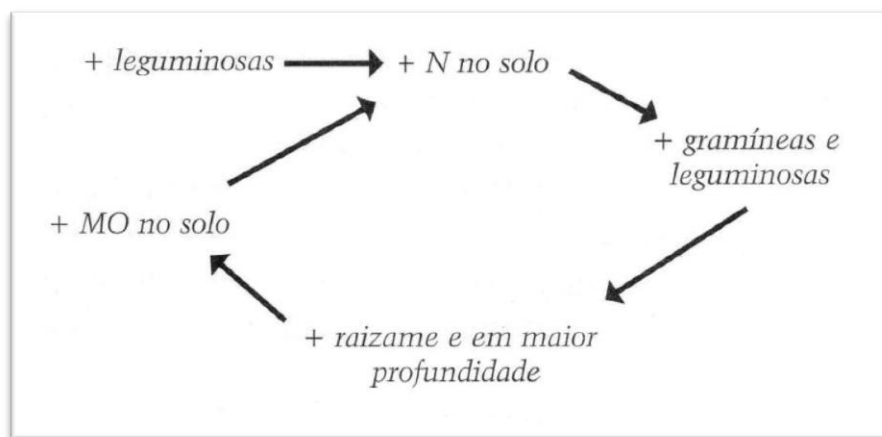


Figura 2 - Efeito do melhoramento das pastagens Mediterrânicas por incremento de leguminosas (adaptado de Efe Serrano, 2006).

O papel das pastagens ricas em leguminosas é ainda mais relevante por atingirem o seu potencial produtivo sem necessitarem de consumir certos factores de produção, como os fertilizantes azotados e os herbicidas, aspectos que se expressam a nível económico (Crespo, 1995). Assim, o sistema silvo pastoril, que integra pastagens biodiversas, diferentes espécies de árvores e animais em pastoreio revela todo o potencial de variabilidade deste ecossistema para a gestão diferenciada, designadamente da fertilização, e projecta-o no cenário da agricultura de precisão (Serrano *et al.*, 2014; Martins, 2015).

3 - Agricultura de precisão

3.1 - Conceito e enquadramento

O conceito de agricultura de precisão (AP) surgiu no final do século XX, aparecendo como um novo sistema de cultura (Zhang *et al.*, 2002). A agricultura tradicional apoiou-se no princípio da homogeneidade das parcelas, no entanto, esta abordagem não tem em conta a variabilidade inerente ao meio natural, pelo que, tem impacto negativo nos custos de produção e na sustentabilidade do meio ambiente onde a actividade agrícola está inserida (Stafford, 2000; Tschiedl e Ferreira, 2002; Zhang *et al.*, 2002; Serrano *et al.*, 2014; Barreto, 2015; Martins, 2015). No início do século XX, a pequena dimensão dos terrenos agrícolas permitia um trabalho manual, ou seja, lento e em pequena escala (Stafford, 2000; Whelan e McBratney, 2000). Com o alargamento das áreas de cultivo e com o desenvolvimento da mecanização agrícola,

houve necessidade de desenvolver tecnologias para identificar e responder à variabilidade presente nos terrenos, na qual a AP veio permitir a gestão diferenciada de cada local na parcela, sem perder a eficiência e o rendimento de trabalho característicos dessa mecanização (Stafford, 2000; Zhang *et al.*, 2002; Schellberg *et al.*, 2008; Gertesis *et al.*, 2013; Serrano *et al.*, 2014; Martins, 2015). Assim, a AP está associada a dois objectivos genéricos: aumento do rendimento dos agricultores e redução do impacto ambiental da actividade agrícola (Zhang *et al.*, 2002; Coelho e Silva, 2009; Gertesis *et al.*, 2013; Serrano *et al.*, 2014; Barreto, 2015).

O desenvolvimento das tecnologias de AP permitiu um grande avanço em termos de monitorização das culturas, uma vez que permitem avaliar a produtividade, a variabilidade espacial do solo e o pastoreio animal (Schellberg *et al.*, 2008). Os sistemas de posicionamento a partir de satélites (GNSS, “*global navigation satellite system*”), os sistemas de informação geográfica (SIG), os sensores electrónicos e tecnologia de aplicação variável (VRT) tornaram possível a concretização e consequente aplicabilidade do conceito de AP (Zhang *et al.*, 2002). Este conjuga os conhecimentos agronómicos com as novas tecnologias à disposição (Cox, 2002).

Wrest Park History Contributors (2009) apresentaram uma proposta de ciclo completo de AP, onde são referidos os princípios subjacentes a esta temática (Figura 3). Este ciclo tem início com o levantamento da variabilidade espacial e temporal do solo e da cultura. Segue-se a análise dos dados fornecidos pelos vários sensores e a sua integração como informação válida para o agricultor (Zhang *et al.*, 2010; Serrano *et al.*, 2014). A tomada de decisão será ajustada por este, combinando critérios económicos, ambientais e de qualidade da produção (Coelho e Silva, 2009), culminando com a gestão diferenciada dos factores de produção.

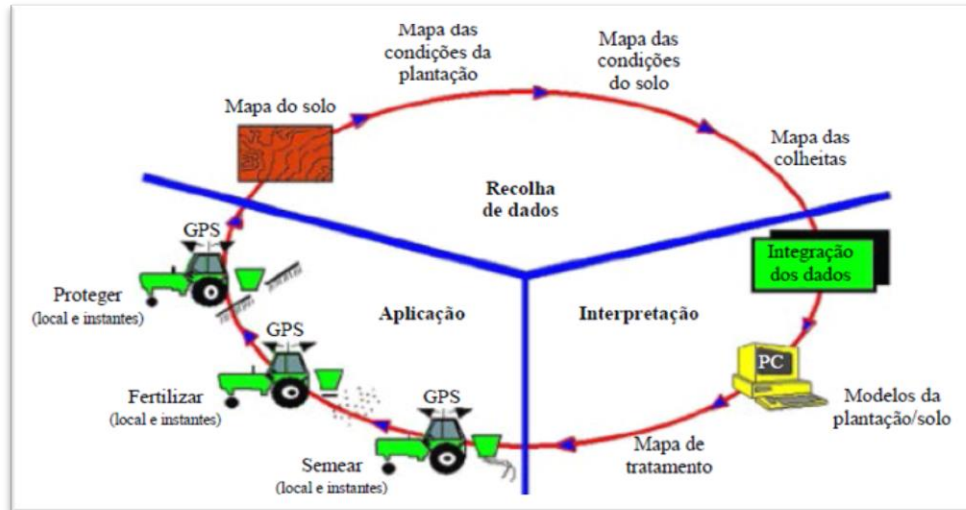


Figura 3 - Diagrama explicativo de um ciclo geral de agricultura de precisão (adaptado de Wrest Park History Contributors, 2009).

De acordo com Serrano *et al.* (2014), em termos práticos, o possível contributo que a AP pode dar para a sustentabilidade do ecossistema de montado, onde se inserem as pastagens de sequeiro Mediterrânico, está relacionado com:

- i. A monitorização da variabilidade do solo;
- ii. A avaliação da produtividade e da qualidade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo;
- iii. A gestão diferenciada da fertilização (sobretudo fosfatada);
- iv. A monitorização do pastoreio animal.

3.2 - Tecnologias de agricultura de precisão utilizadas na monitorização de pastagens

3.2.1 - Sistema de navegação global por satélite (GNSS).

O sistema americano GPS (*"global position system"*) é o GNSS mais utilizado actualmente, em comparação com o seu concorrente sistema Russo "GLONASS". O GPS tem como principal função determinar a localização de um objecto/receptor no ar ou na superfície terrestre calculando a sua posição a partir dos sinais transmitidos pelos vinte e quatro satélites, que estão em órbita em volta da Terra (Searcy, 1997; Barreto, 2015; Sales-Baptista *et al.*, 2016). Os satélites transmitem um sinal de rádio

com indicações precisas da hora de envio, sendo que os receptores captam o sinal e utilizam um sistema de triangulação para calcular a sua posição (coordenadas geográficas) (Searcy, 1997; Sales-Baptista *et al.*, 2016). Assim, o GNSS está na base dos sistemas de AP, visto que para determinar a variabilidade espacial de cada característica do solo ou da cultura é necessário conhecer a localização geográfica precisa dos pontos de amostragem (Searcy, 1997; Cox, 2002; Coelho e Silva, 2009; Serrano *et al.*, 2014; Sales-Baptista *et al.*, 2016).

3.2.2 - Sistemas de informação geográfica (SIG)

A tomada de decisão é um processo complexo que exige a conversão dos dados medidos em informação simplificada e precisa, sendo de extrema importância o desenvolvimento de tecnologias projectadas para o armazenamento, o processamento e a análise de dados (Zhang *et al.*, 2002; Serrano *et al.*, 2014). De acordo com Coelho e Silva (2009) os SIG são aplicações informáticas que permitem associar informação de natureza espacial com informação alfanumérica, possibilitando diversas funcionalidades: criar mapas temáticos, integrar informação da mais diversa natureza, visualizar vários cenários, apresentar ideias e propor soluções.

De acordo com Cunha (2009) as operações inerentes aos SIG (Figura 4), em termos práticos são: a recepção e introdução dos dados no sistema; o armazenamento e organização na base de dados; e, finalmente, a análise da informação, que envolve a exportação dos dados em representação gráfica mais legível para o utilizador. Pinto (2009) refere que a facilidade de trabalhar grandes quantidades de informação, a sua resposta em tempo real e a rapidez com que a informação é trabalhada, são razões que justificam a utilização dos SIG no apoio à decisão em AP. Os SIG têm sido utilizados essencialmente para a gestão de perímetros de rega, cartas de potencial agrícola, estudos e projectos de emparcelamento e gestão da exploração (Cunha, 2009). No ciclo de AP, nomeadamente na monitorização de pastagens, os SIG constituem uma etapa intermédia entre a recolha da informação georreferenciada e a tomada de decisão, onde “*Idrisi*”, “*LandCad*”, “*ArcView*” ou “*ArcGIS*” são exemplos desenvolvidos para este efeito (Serrano *et al.*, 2014).

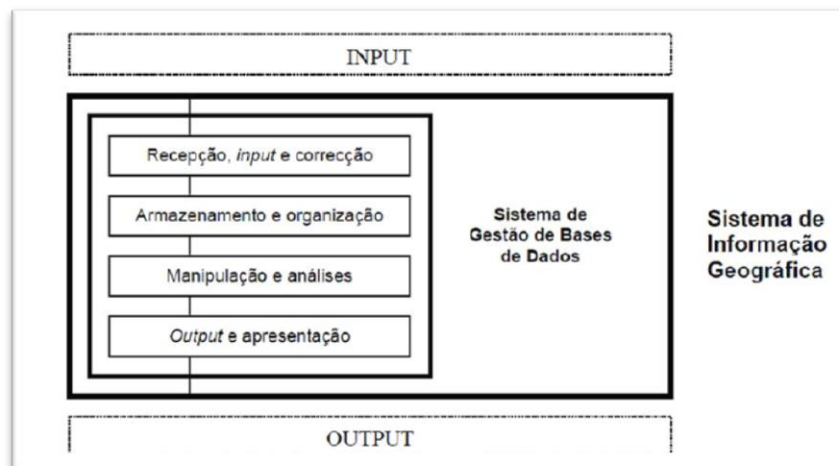


Figura 4 - Diagrama representativo do funcionamento de um sistema de Informação geográfica (adaptado de Cunha, 2009).

3.2.3 - Monitorização da variabilidade do solo

3.2.3.1 - Medidor da condutividade eléctrica aparente

A amostragem tradicional do solo, com a recolha manual de amostras no campo e respectivo tratamento em laboratório, é um processo exigente em tempo e mão-de-obra, atendendo ao elevado número de amostras necessárias para caracterizar a variabilidade de extensas áreas (Serrano *et al.*, 2014; Barreto, 2015). A medição da condutividade aparente do solo (CE_a) é uma das técnicas mais utilizadas para caracterizar de uma forma rápida e precisa os padrões espaciais do solo (Bronson *et al.*, 2005; Grisso *et al.*, 2009; Serrano *et al.*, 2013; Barreto, 2015). Geralmente, a CE_a é medida a partir de uma corrente electromagnética induzida no solo (sensores de indução electromagnética, EMI) (Bronson *et al.*, 2005; Serrano *et al.*, 2010) e é expressa em mS/m (Grisso *et al.*, 2009). Diversos estudos indicam que os valores de CE_a estão relacionados com propriedades do solo, nomeadamente a concentração de sais, a humidade e a textura (Sudduth *et al.*, 2013), parâmetros indicadores da fertilidade do solo, e também com a produtividade das culturas, o que pode representar uma ferramenta importante em AP (Serrano *et al.*, 2010). Segundo Grisso *et al.* (2009) a CE_a é alta em solos argilosos e baixa em solos arenosos. No mercado estão disponíveis dois tipos de sensores para a medição da CE_a : sensores de contacto e

sensores sem contacto com o solo (Sudduth *et al.*, 2013; Serrano *et al.*, 2014). Os sensores de contacto, como o sensor “Veris 2000 XA” (Figura 5) introduzem uma corrente eléctrica no solo através de discos que contactam com o solo e medem a sua resistência eléctrica (Serrano *et al.*, 2014).



Figura 5 - Sensor “Veris 2000 XA”.

Os sensores sem contacto, como o sensor “DUALEM 1S” (Figura 6), são baseados no princípio da indução electromagnética (EMI). Os dois tipos de sensores apresentam vantagens e desvantagens, por exemplo os sensores sem contacto são leves, facilmente transportáveis e adaptáveis a condições de grande irregularidade topográfica (Serrano *et al.*, 2014). Outra vantagem adicional destes sensores não evasivos é o facto de permitirem maiores velocidades de operação e, consequentemente, maiores capacidades de trabalho (Bronson *et al.*, 2005; Abdu *et al.*, 2007; Serrano *et al.*, 2014).

Segundo Abdu *et al.* (2007) e Serrano *et al.* (2014), os EMI sensores são rentáveis e estão a ganhar maior utilização devido à natureza não destrutiva do processo, não exigindo uma fonte de potência como o tractor ou uma moto 4, ao

contrário dos sensores de contacto. Outra desvantagem adicional para os sensores de contacto resulta da necessidade dos discos penetrarem no solo para que os eléctrodos procedam à medição, o que torna as medições menos fiáveis em condições de solo seco ou pedregoso (Grisso *et al.*, 2009; Serrano *et al.*, 2014; Barreto, 2015), e pode mesmo ser inviável a sua utilização quando a cultura se encontra instalada.



Figura 6 - Sensor “DUALEM 1S”.

3.2.4 - Avaliação da produtividade e da qualidade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo

3.2.4.1 - Sensor óptico

Segundo Braga (2009) e Barreto (2015) o princípio de funcionamento dos sensores ópticos baseia-se no registo da radiação emitida ou reflectida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético (bandas espectrais). Estes sensores podem ser passivos (utilizam a luz natural) ou activos (possuem fonte de luz própria), sendo que estes últimos não necessitam calibração e podem trabalhar em qualquer condição de luz (inclusivamente à noite) (Serrano *et al.*,

2016a). Assim, consoante as espécies botânicas presentes, a densidade, a altura, a humidade, a percentagem de matéria verde e de matéria senescente, o estado vegetativo ou mesmo o estado nutricional de uma cultura pode haver resultados consideravelmente diferentes na medição pelos sensores ópticos (Numata *et al.*, 2008; Martins, 2015; Serrano *et al.*, 2016a). O índice de vegetação mais utilizado para representar o vigor vegetativo das plantas é conhecido por NDVI ("*normalized difference vegetation index*": equação 1). O seu cálculo baseia na medição da resposta espectral em duas bandas: do infravermelho próximo (NIR, *near infrared*, correspondente a 0,77 µm - banda na qual as plantas reflectem a radiação) e do vermelho (RED, correspondente a 0,67 µm - banda na qual as plantas em bom estado vegetativo absorvem a radiação visível) (Braga, 2009).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

À medida que a capacidade fotossintética se degrada, devido a factores como o stress hídrico ou azotado, a incidência de doenças, etc., as plantas passam a absorver menos no vermelho, e portanto a reflectir mais no infravermelho (Pullanagari *et al.*, 2011; Turvey e Mclaurin, 2012). O valor do NDVI varia entre os valores de -1 e 1, sendo que se encontrará tanto mais próximo de 1, quanto maior for a capacidade fotossintética da vegetação (Barreto, 2015; Serrano *et al.*, 2016a). Assim o conhecimento das assinaturas espectrais e das suas variações permitem construir os índices de vegetação, com aplicações muito diversas (Penteado, 2014).

3.2.4.2 - Sonda de capacitância

O manejo das pastagens e o planeamento e gestão dos respectivos sistemas de produção são baseados na estimativa de produção e acumulação de erva (Serrano *et al.*, 2014). Os agricultores têm consciência da variabilidade da capacidade produtiva presente nas suas parcelas, o que não está normalmente disponível são os meios para avaliarem e actuarem perante essa variabilidade (Serrano *et al.*, 2009; 2014). É, por isso, importante melhorar os meios de avaliação da massa de forragem para que se

possam otimizar os factores tempo e mão-de-obra, mantendo o grau de precisão e a confiabilidade (Adams *et al.*, 2000; Cauduro *et al.*, 2006).

O método mais comum e mais fiável na estimativa da produtividade da pastagem é o método directo, baseado no corte da erva contida numa dada área. Este é, no entanto, um método trabalhoso e demorado, especialmente na recolha das amostras em número suficiente para representar a variabilidade produtiva das pastagens (Serrano *et al.*, 2014), por isso, têm surgido propostas para desenvolver sistemas de medição indirecta, por estimativa, que não exigem o corte da pastagem (Serrano *et al.*, 2009). É o caso da sonda electrónica de capacitância. Serrano *et al.* (2009; 2014) desenvolveram estudos com a sonda de capacitância “*Grassmaster II*”, tendo estabelecido equações de calibração para diferentes tipos de pastagens no Alentejo. Esta sonda, leve e fácil de transportar (Currie *et al.*, 1987; Cauduro *et al.*, 2006), é constituída por um circuito electrónico que emite uma corrente eléctrica fraca (cerca de 5 V), baseando a medição na diferença entre a constante dieléctrica do ar (que é alta) e a da pastagem (que é baixa) (Currie *et al.*, 1987, Zanine *et al.*, 2006; Serrano *et al.*, 2014). Este sensor de capacitância, equipado com uma consola, permite ao operador introduzir uma equação de calibração, disponibilizando em tempo real a informação da estimativa da produção de pastagem em termos de matéria seca (kg/ha). Se a esta sonda for associado um receptor GNSS, é possível representar a variabilidade espacial da produtividade da pastagem (Serrano *et al.*, 2009; 2014).

O interesse no processo de calibração e avaliação desta sonda permanece actual, visto que cada tipo de pastagem apresenta diferentes características específicas, as quais variam nos diferentes estados vegetativos da planta (Serrano *et al.*, 2009; Serrano *et al.*, 2014; Barreto, 2015).

3.2.4.3 - Câmara térmica de infravermelhos

O desenvolvimento de sensores e de sistemas de monitorização inovadores em diversas áreas, nomeadamente nas indústrias automóvel, aeronáutica, naval, e a sua aplicação na área da agricultura tem permitido o levantamento da variabilidade do solo e das culturas. A câmara térmica de infravermelhos é um exemplo destas aplicações. O seu princípio assenta na captura da radiação infravermelha emitida por

um objecto, convertendo-a em imagens térmicas digitais para a faixa do espectro electromagnético visível, atribuindo uma cor a cada nível de energia (Constanzo *et al.*, 2014; Usamentiaga *et al.*, 2014). Uma vez que qualquer objecto a uma temperatura acima do zero absoluto emite radiação infravermelha, a medição deste parâmetro é um importante indicador do estado desse objecto (Usamentiaga *et al.*, 2014; Chen, 2015). A termografia por infravermelhos é utilizada em diversas aplicações, por exemplo: (i) em Arquitectura, na monitorização do estado estrutural (deslocamentos estruturais dos elementos) e detecção de anomalias em edifícios históricos com o objectivo da sua conservação (Constanzo *et al.*, 2014); (ii) em Medicina, na detecção de tumores superficiais, distúrbios vasculares e na detecção de doenças da pele (Usamentiaga *et al.*, 2014); (iii) na Agricultura, como técnica não evasiva ou não destrutiva, na detecção da temperatura foliar da planta (O'shaughnessy *et al.*, 2011; Chen, 2015; Vaz *et al.*, 2016), informação relevante para averiguar a transpiração foliar, o stress térmico ou hídrico e a sanidade da planta (doenças e pragas), aspectos decisivos no apoio à gestão das culturas (O'shaughnessy *et al.*, 2011).

De acordo com Constanzo *et al.* (2014) e Usamentiaga *et al.* (2014), a termografia por infravermelhos apresenta as seguintes vantagens: por ser não invasiva, pode ser utilizada em objectos extremamente quentes ou perigosos, como ácidos; permite medições em tempo real; apresenta versatilidade e portabilidade. O custo de aquisição do equipamento e a dependência de algumas variáveis de trabalho, como a temperatura ambiente, a precipitação e a distância ao objecto alvo, constituem as principais desvantagens apontadas para esta técnica (Usamentiaga *et al.*, 2014). Em conclusão, as medições por infravermelhos utilizando imagens térmicas torna-se útil para os agricultores, pois fornece informações de dados qualitativos e quantitativos da parcela, ajudando o produtor na sua tomada de decisão.

3.2.5 - Gestão diferenciada da fertilização

3.2.5.1 - Tecnologia de aplicação variável

A fertilização é o principal custo de manutenção em pastagens permanentes, pelo que o uso incorrecto de adubos resulta em perdas económicas e pode ter reflexo na poluição do meio ambiente (Serrano *et al.*, 2011). A prática comum consiste na aplicação uniforme de fertilizante em toda a parcela, o que, perante a comprovada variabilidade do solo, leva a aplicação excessiva em algumas zonas e insuficiente noutras (Serrano *et al.*, 2011; Bernardi *et al.*, 2016). As tecnologias descritas anteriormente servem para recolher e tratar a informação georreferenciada relativamente à variabilidade das características do solo e das culturas. A importância das pastagens permanentes no Alentejo justifica o interesse na aplicação de novas tecnologias que facilitem e promovam a gestão diferenciada (Serrano *et al.*, 2014). O fechar do ciclo de AP em pastagens passará pela aplicação espacialmente diferenciada de adubos utilizando tecnologias de aplicação variável (VRT).

No mercado estão disponíveis dois tipos de solução VRT: (i) “em tempo real” e (ii) “em pós processamento”. A tecnologia “em tempo real” apresenta a vantagem de, numa só passagem, permitir o levantamento da variabilidade e a aplicação diferenciada, no entanto, exige o desenvolvimento de algoritmos capazes de interpretar a informação lida pelos sensores e transformá-la em decisões imediatas de aplicação ao nível dos actuadores (Serrano *et al.*, 2011; 2014). É utilizada habitualmente na aplicação de produtos fitossanitários, herbicidas ou pesticidas. Na tecnologia “em pós-processamento” a informação sobre a variabilidade espacial dos factores considerados determinantes é obtida previamente. Os mapas de prescrição são a base deste modo de funcionamento, os quais são transferidos para interfaces que comandam os equipamentos de aplicação diferenciada (Serrano *et al.*, 2014). Esta tecnologia é geralmente utilizada na aplicação de fertilizantes.

3.2.6 - Monitorização do pastoreio animal

A monitorização de animais em pastoreio é um elemento fundamental na gestão do ecossistema de montado, pois permite estabelecer práticas sustentáveis no manejo da pastagem, nomeadamente, o encabeçamento animal. O estudo da dinâmica espacial dos animais, principalmente, a sua localização permite diferenciar as suas actividades (pastoreio, repouso e trânsito) (Serrano *et al.*, 2014). Nesta investigação é necessário monitorizar os animais e referenciá-los não só no espaço como no tempo (Sales-Baptista *et al.*, 2016). O uso dos sistemas de navegação global por satélites (GNSS), veio superar a dificuldade em seguir os movimentos dos animais em grandes áreas, obtendo medições precisas da sua localização. Geralmente, o animal é equipado com um receptor (Figura 7), que recebe sinais dos satélites em órbita, determinando a posição exacta do animal.



Figura 7 - Arnês com bolsa acoplada para fixação do receptor GNSS.

De acordo com Sales-Baptista *et al.* (2016), a monitorização e análise dos percursos que os animais realizam são justificadas por duas abordagens: (i) no impacto que tem ao nível da tomada de decisão para a gestão de empresas agropecuárias; e (ii) no contributo para a compreensão do comportamento animal e das suas relações entre si e com o meio ambiente onde estão inseridos.

4 - Materiais e métodos

4.1 - Local de estudo

A parcela em estudo, delimitada por rede metálica, ocupa uma área de 7ha (Figura 8, à esquerda) e encontra-se na propriedade privada da Quinta da Silveira, situada no concelho de Évora (coordenadas geográficas 38°62.2'N; 7°94.8'W). A parcela é caracterizada por um declive suave, com amplitude de cotas entre 273 e 282m (Figura 8, à direita), apresenta algum coberto arbóreo (oliveiras, sobreiros e amoreiras) e é atravessada por uma linha de água torrencial. Trata-se de uma pastagem natural constituída essencialmente por gramíneas, embora com predominância de leguminosas e outras espécies em determinadas zonas. Não se encontrava sob pastoreio animal desde a Primavera de 2014, apresentando, por isso, considerável restolho seco do ano anterior. Para efeitos de apoio à monitorização regular e sistemática da pastagem, em 2013 foram georreferenciados com GNSS de precisão (*“GPS Trimble RTK/ PP-4700, fabricado pela Trimble Navigation Limited, EUA”*) quarenta e sete pontos de amostragem, constituindo uma grelha regular em quadrícula com 35 m de distância entre pontos, processo materializado no terreno com pequenas estacas de ferro.

4.2 - Caracterização climática

Na caracterização climática foram utilizados os dados termopluviométricos da Estação Climática de Évora. De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é “Csa” (clima temperado húmido), com verões secos (típicos do clima Mediterrânico). A precipitação anual é da ordem dos 450-600 mm, concentrada principalmente nos meses de Inverno e de Primavera, praticamente sem precipitação durante o Verão. A Figura 9 mostra o diagrama termopluviométrico do trinténio 1981-2010 para a Estação Meteorológica de Évora.

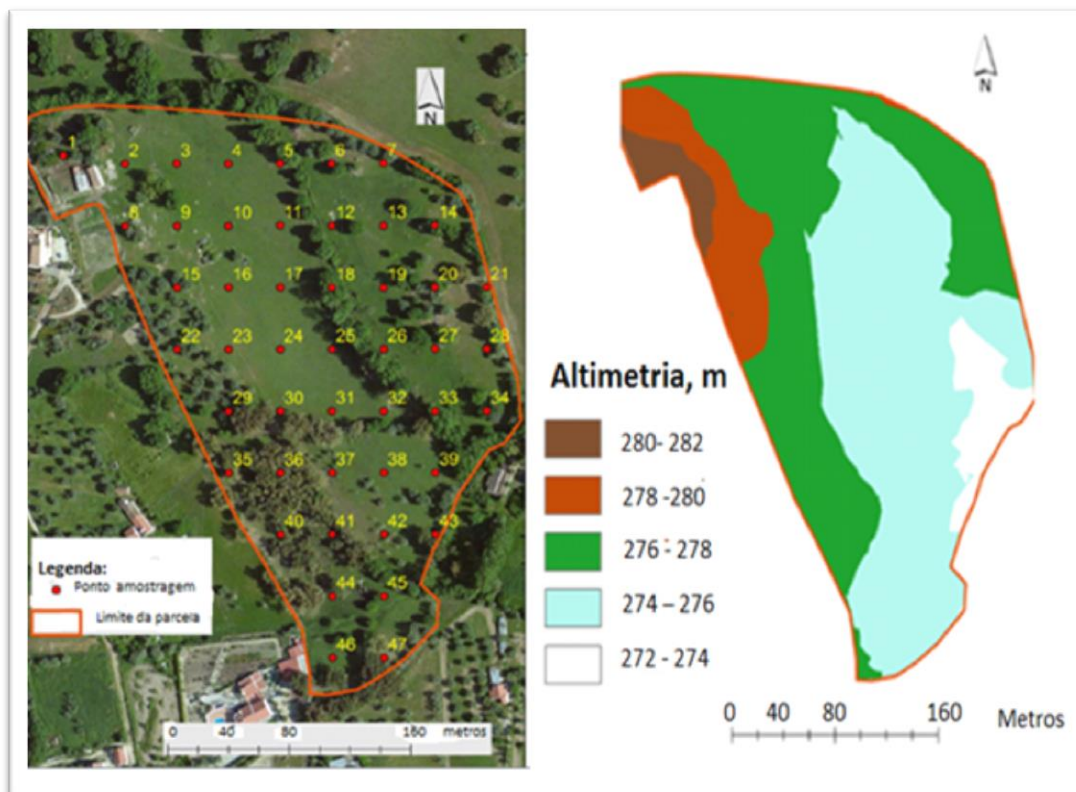


Figura 8 - Local de estudo ("Quinta da Silveira"): à esquerda, fotografia aérea da parcela com 47 pontos de amostragem; à direita, mapa altimétrico (adaptado de: Serrano *et al.*, 2016a).

O ano agrícola de 2014/2015 (Figura 10, *em cima*) apresentou diferenças importantes em relação à média histórica dos anos de 1981-2010, nomeadamente a precipitação acumulada entre os meses de Janeiro e Maio de 2015. O valor registado neste período (160 mm) foi inferior a metade da média histórica da precipitação acumulada (350-400 mm). O ano agrícola 2014/2015 caracterizou-se por um Outono com temperaturas amenas e muito chuvoso. Em contrapartida, o Inverno foi muito frio e seco. A Primavera caracterizou-se por ser quente e seca. Assim a conjugação da menor quantidade de precipitação com a ocorrência de temperaturas ligeiramente mais elevadas do que o habitual na Primavera, transformou o período de Inverno e Primavera de 2015 num período relativamente seco, com influência no ciclo vegetativo, bem como na produtividade das pastagens de sequeiro no Alentejo.

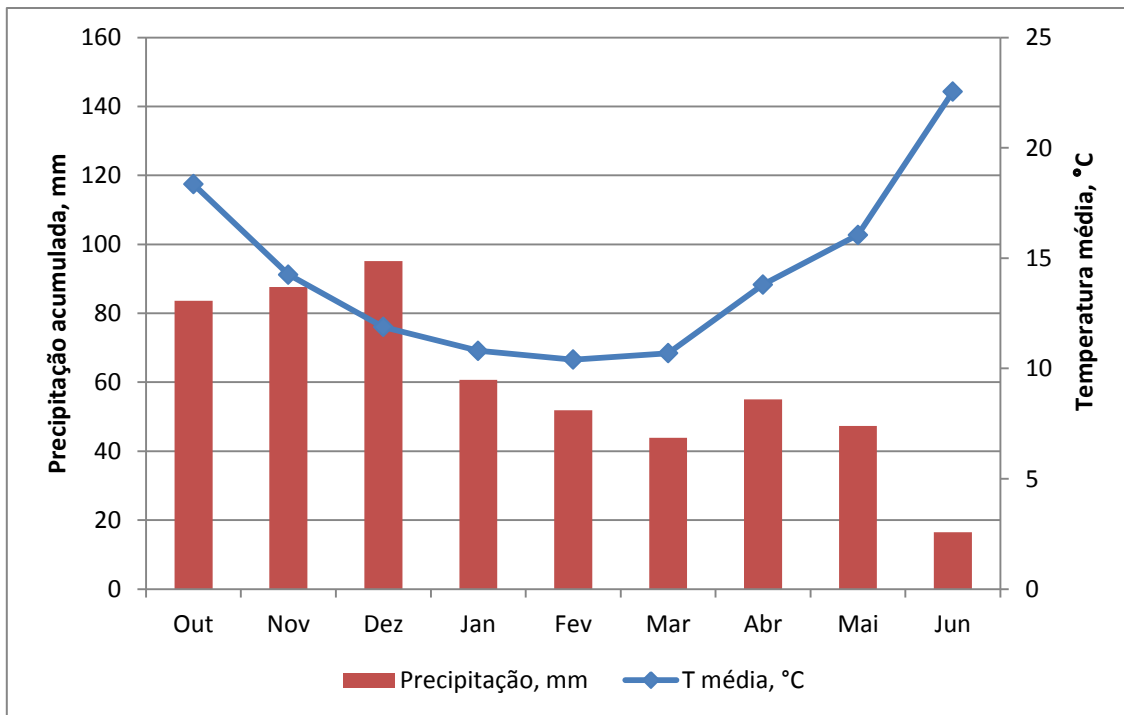


Figura 9 - Diagrama termopluviométrico do trinténio 1981-2010 para a Estação Meteorológica de Évora.

Relativamente ao ano agrícola 2015-2016 (Figura 10, *em baixo*) é possível verificar diferenças importantes quer em relação ao ano agrícola de 2014-2015, quer em relação à média histórica. Essas diferenças aconteceram também essencialmente ao nível da precipitação nos meses de Janeiro a Maio, com uma precipitação acumulada de 329 mm em comparação com os 160 mm ocorridos no ano agrícola 2014-2015. Os valores de precipitação registados são, ainda assim, inferiores à média histórica (350-400 mm), no entanto, o mês de Maio apresentou um elevado e anormal valor de precipitação (95,5 mm), mais do dobro da média histórica (Figura 11). Esta ocorrência teve, naturalmente, efeitos no ciclo vegetativo das pastagens, prolongando o vigor vegetativo das plantas.

4.3 - Equipamentos utilizados

Nos ensaios de campo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Sensor óptico activo “OptRx®”(Ag Leader, 2202 South River Side Drive Ames, IOWA 50010, USA) e a respectiva fonte de energia assegurada por uma pequena bateria portátil (Figura 12).

- Receptor “Trimble” GNSS, GeoExplorer da série 6000, modelo 88951, com precisão sub-métrica (GmbH, Am Parc 111, 65479 Raunheim, Germany) (Figura12).

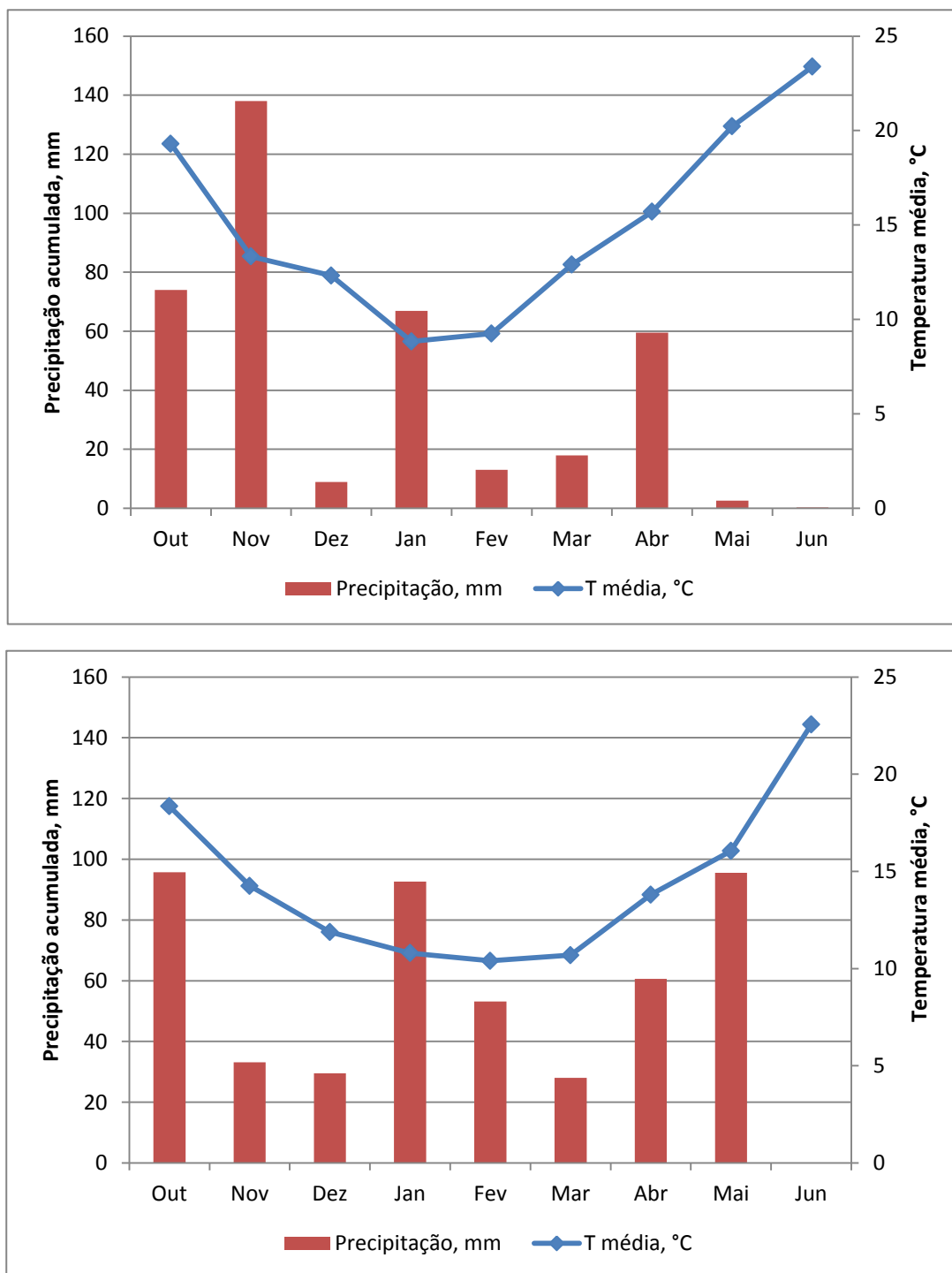


Figura 10 - Diagramas termopluviométricos alusivos aos anos agrícolas 2014/2015 (*em cima*) e 2015/2016 (*em baixo*) para a Estação Meteorológica de Évora.

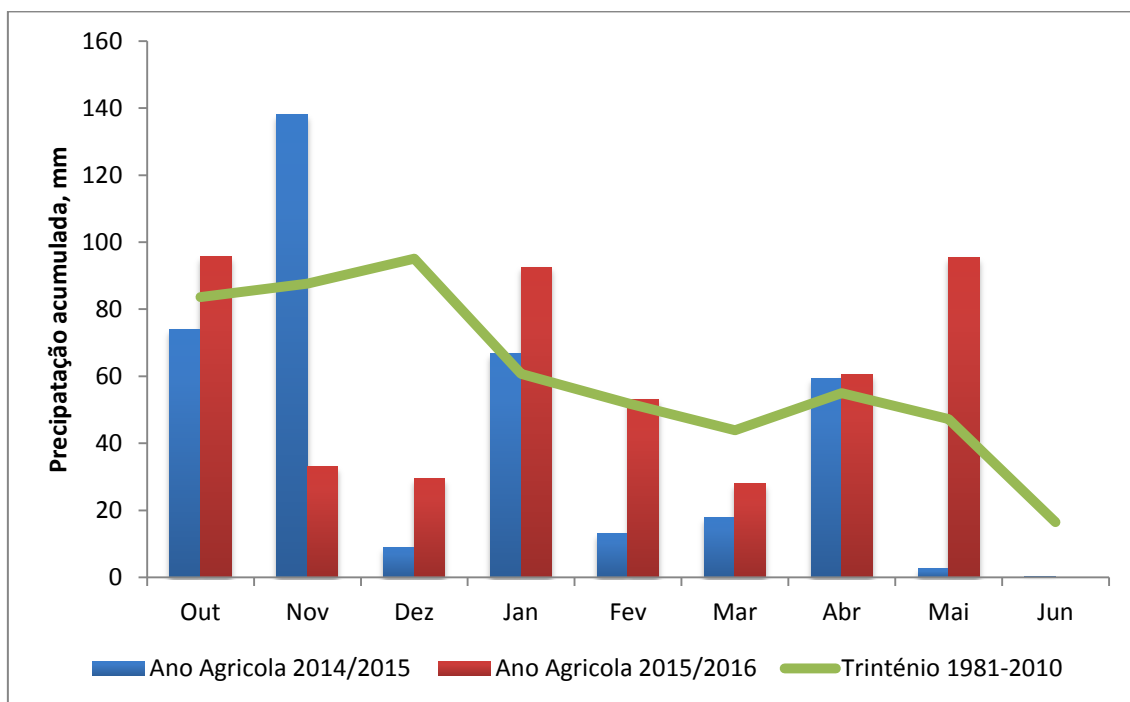


Figura 11 - Comparação da precipitação acumulada entre os anos agrícola 2014-2015 e 2015-2016 e o trinténio 1981-2010.



Figura 12 - Sensor óptico ("OptRx®"), receptor GNSS ("Trimble") e bateria portátil utilizados nos ensaios de campo.

- Câmara térmica de infravermelhos, modelo “*ThermCAM*” (FLIR systems USA; Figura 13).



Figura 13 - Câmara térmica de infravermelhos utilizada nos ensaios de campo.

- Sonda “*Grassmaster II*” (Novel Ways Electronic, Hamilton, New Zealand; Figura 14).



Figura 14 - Sonda de capacitância “*Grassmaster II*” utilizada nos ensaios de campo.

- Material para caracterização, corte e recolha de pastagem: régua metálica graduada em centímetros; aro metálico com área de 0,1 m²; máquina eléctrica de cortar relva portátil; sacos de plástico identificados com os códigos dos pontos de amostragem.

4.4 - Metodologia do ensaio

4.4.1 - Recolha de dados de campo

A monitorização da evolução da pastagem decorreu em quatro momentos entre Março e Junho de 2016 (14/03, 28/04, 24/05 e 17/06). Em cada uma destas datas de avaliação os 47 pontos de amostragem foram percorridos por 3 operadores: um transportava o sensor óptico, outro a sonda de capacitância e a máquina fotográfica de infravermelhos e um terceiro transportava o material para corte e recolha da pastagem. A medição com o sensor óptico “*OptRx®*” foi realizada a cerca de 0,75 m de altura do solo (Figura 15), registando durante cerca de um minuto em cada ponto de amostragem, as medições do NDVI.



Figura 15 - Operador na recolha de dados com o sensor óptico “*OptRx®*”.

Enquanto o operador do sensor óptico se deslocava para o ponto seguinte, um segundo operador realizava a medição da capacitância com a sonda “*Grassmaster II*” e em seguida efectuava o registo fotográfico com a câmara térmica de infravermelhos. Após estas medições, o terceiro operador procedia ao corte e recolha do material vegetal onde haviam sido realizadas as medições com os sensores. No final das medições, a pastagem recolhida em sacos de plásticos devidamente identificados com

o código respectivo era transportada para o Laboratório de Pastagens e Tecnologia de Forragens da Universidade de Évora.

4.4.2 - Caracterização laboratorial do material vegetal

No laboratório as amostras de pastagens foram pesadas para determinação da produtividade expressa em termos de matéria verde (Kg MV/ha), desidratadas (durante 72h a 65 °C) e novamente pesadas para determinação da produtividade da pastagem em termos de matéria seca (kg MS/ha). As amostras, depois de desidratadas e pesadas seguiram para o Laboratório de Nutrição e Metabolismo da Universidade de Évora onde se procedeu à determinação das cinzas totais (CT), da proteína bruta (PB) e do NDF (*“neutral detergent fiber”*), expressos em % da MS. Atendendo ao tempo necessário e aos custos associados à determinação dos parâmetros qualitativos da pastagem, o material vegetal desidratado referente aos 47 pontos de amostragem foi organizado em 13 zonas (Figura 16). Para a definição dos pontos de amostragem de cada zona, foram tidas em consideração características previamente identificadas no local relativas ao tipo de pastagem, resultante da conjugação de factores como o relevo, o solo ou o coberto arbóreo.

O material desidratado do conjunto de pontos de amostragem de cada zona foi homogeneizado por moenda, originando uma amostra compósita por zona. Após este processo, seguiu-se um tratamento térmico a cerca de 105 °C durante 24 horas para calcular o teor de matéria seca residual. Os teores de CT foram obtidos após queima em forno de mufla a 550 °C durante 3 horas, seguido de 1 hora em estufa a 150 °C (AOAC, 2005a). A determinação da PB foi realizada por detecção da condutividade térmica do azoto libertado por combustão a altas temperaturas em oxigénio puro, o qual foi convertido em proteína (AOAC, 2005b). Os valores do NDF, que correspondem às fracções constituintes da fibra dos alimentos (hemicelulose, celulose e lenhina), foram obtidos através do equipamento *“FIBRE THERM®”*, análise realizada em conformidade com métodos padrão (Van Soest *et al.*, 1991).

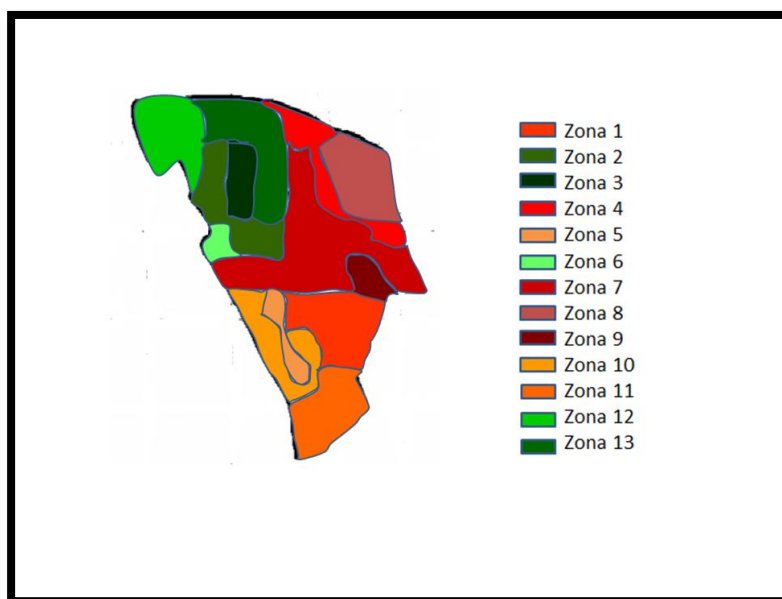


Figura 16 - Zonas homogêneas constituídas para efeitos da simplificação do processo de avaliação da qualidade da pastagem.

4.5 - Tratamento estatístico

Os dados medidos pelos sensores (NDVI e capacitância) e a produtividade da pastagem foram organizados pelas datas de avaliação em ficheiros Excel, associados às coordenadas dos pontos de amostragem. Os dados obtidos da temperatura de infravermelhos da pastagem foram tratados no programa “*ResearchIR*® 3.0 software”. Todos estes dados foram sujeitos a análise estatística descritiva para o cálculo da média, desvio padrão e intervalo de variação. Nos parâmetros de produtividade e qualidade da pastagem e nas medições realizadas pelos sensores foi determinado o coeficiente de variação (CV), que mede o grau de dispersão de valores em relação à média, expresso em percentagem. A análise estatística descritiva permite fazer uma primeira abordagem quanto à variabilidade espacial e temporal da pastagem da parcela. O CV permite medir o grau da variabilidade espacial apresentado por cada parâmetro estudado.

Procedeu-se a análises de correlação entre as variáveis de produtividade (MV e MS) e de qualidade (CT, PB e NDF) da pastagem com os parâmetros medidos pelos sensores (capacitância, NDVI e T_{iv}). Foi considerado um grau de significância de 95 % ($p < 0,05$). A informação georreferenciada foi tratada no software “*ArcGIS 10.2*” (ESRI, Redlands, CA) para elaboração dos mapas respectivos.

5 - Resultados e discussão

5.1 - Condutividade eléctrica aparente do solo

Alguns dos factores que afectam a condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a) afectam também a produtividade das culturas, o que justifica a medição deste parâmetro na monitorização de pastagens (Serrano *et al.*, 2010). A Figura 17 ilustra o mapa da CE_a do solo da parcela de ensaio da “Quinta da Silveira” obtido em Junho de 2015. Esta informação espacial pode ser de grande utilidade para o gestor de uma exploração agro-pecuária, uma vez que revela o que se passa ao nível do substrato solo, um dos principais condicionantes do desenvolvimento da pastagem. Nesta parcela em concreto, a CE_a apresentou valores mais elevados na zona a Sul (> 10 mS/m) e ainda ao longo de um corredor central da parcela, de Norte a Sul (5-10 mS/m). Estas zonas têm em comum serem atravessadas por uma linha de água, factor naturalmente responsável por teores mais elevados de humidade no solo, parâmetro que influencia positivamente a CE_a (King *et al.*, 2005). A principal aplicação dos mapas de CE_a em projectos de agricultura de precisão acontece na definição de zonas de gestão homogénea (Moral *et al.*, 2010), nomeadamente, para identificar pontos de amostragem do solo (Fortes *et al.*, 2015). Neste estudo, o mapa da CE_a constituiu uma das camadas de informação utilizadas para, em conjunto com o relevo, o tipo de pastagem e o coberto arbóreo, definir treze zonas de amostragem em termos de qualidade da pastagem.

5.2 - Produtividade da pastagem

O Quadro 1 ilustra os parâmetros de produtividade medidos na pastagem, em termos de matéria verde (MV) e matéria seca (MS) ao longo do ciclo vegetativo. É possível verificar que a MV da pastagem, em termos médios, aumentou progressivamente entre Março e Maio (Figura 18), altura em que se verificou um pico de produção (8430 kg/ha), seguido de um decréscimo em Junho. Por outro lado, a MS da pastagem, em termos médios, aumentou gradualmente ao longo do ciclo vegetativo, atingindo um valor máximo em Junho (2441 kg/ha).

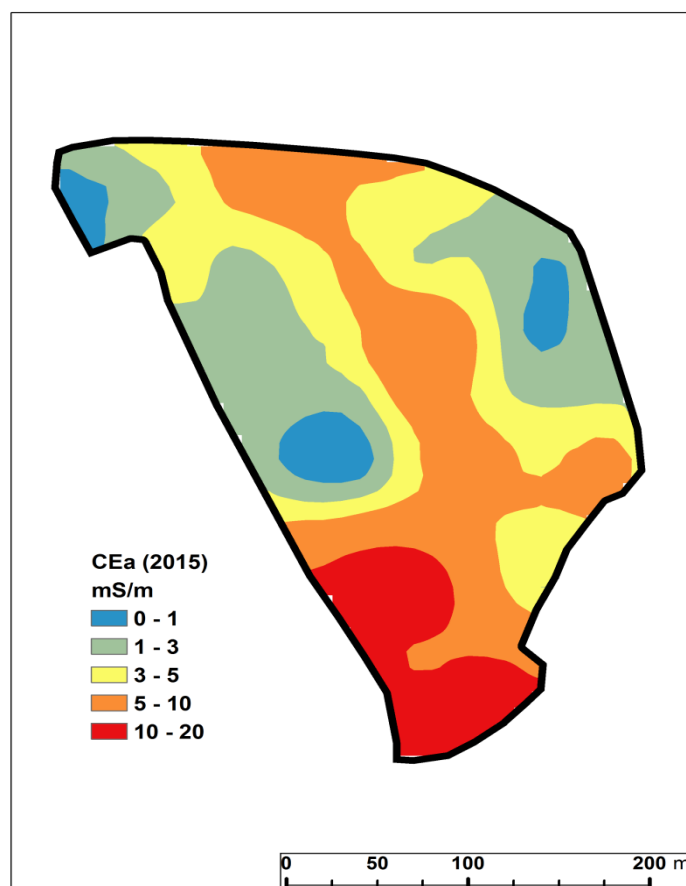


Figura 17 - Mapa da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a), em mS/m, na Quinta da Silveira, em Junho de 2015.

Resultados semelhantes tinham sido obtidos na mesma pastagem por Barreto (2015), o que reflecte as condições edafo-climáticas Mediterrânicas. A produtividade da pastagem apresenta valores de CV na ordem dos 50 % no caso da MS e entre os 50-90 % no caso da MV, o que demonstra a acentuada heterogeneidade da parcela. As Figuras 19 e 20 apresentam os mapas da produtividade da pastagem, em termos de MV e de MS, respectivamente. A análise destas figuras permite verificar a evolução temporal diferenciada dos padrões espaciais da MV e da MS ao longo do ciclo vegetativo. Quanto à MV, é possível identificar no início da Primavera (em Março) uma fraca produtividade em toda a zona central da parcela, de Sul a Norte, coincidindo com a zona mais plana (ver mapa altimétrico, Figura 8). No ano anterior (Serrano *et al.*, 2016a) esta tinha sido a zona de maior produtividade, no entanto, uma vez que a vegetação não foi pastoreada, secou e acumulou-se no local, impedindo o acesso da

luz solar e a germinação das sementes do novo ano. Atendendo a que a precipitação foi elevada na Primavera de 2016 (ver Figura 10), a conjugação de humidade no solo com temperaturas elevadas levou em Maio à recuperação da produtividade nalgumas zonas da parcela, especialmente a Norte (ver Figura 19c).

Quadro 1 - Produtividade da pastagem, em termos de matéria verde (MV) e matéria seca (MS), em kg/ ha, no conjunto dos 47 pontos de amostragem na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

Parâmetros	Média \pm DP	CV, %	Intervalo de variação
<u>MV, kg/ha</u>			
Março	3468 \pm 3247	93,63	[740 - 21010]
Abril	5994 \pm 3417	57,01	[1640 - 16060]
Maio	8430 \pm 4234	50,23	[2820 - 18290]
Junho	7786 \pm 3081	39,57	[2080 - 18290]
<u>MS, kg/ha</u>			
Março	924 \pm 528	57,14	[140 - 2790]
Abril	873 \pm 415	47,54	[310 - 2540]
Maio	2056 \pm 925	44,99	[830 - 4860]
Junho	2441 \pm 712	29,17	[1060 - 4460]

DP - Desvio padrão; CV - Coeficiente de variação; MV - Matéria verde; MS - Matéria seca.

Em Junho (Figura 19d), a diminuição drástica da precipitação e a subida acentuada das temperaturas (ver Figura 10) conduziu ao padrão normal de produtividade das pastagens nas condições de sequeiro da região Mediterrânica, com uma evidente quebra, a qual se acentua durante todo o Verão. A variabilidade inter-anual patente na comparação dos dados de 2015 (Serrano *et al.*, 2016a) com os dados deste trabalho (2016) é justificada pelo efeito da acentuada variabilidade climática (especialmente ao nível da distribuição da precipitação) (Murray *et al.*, 2007).

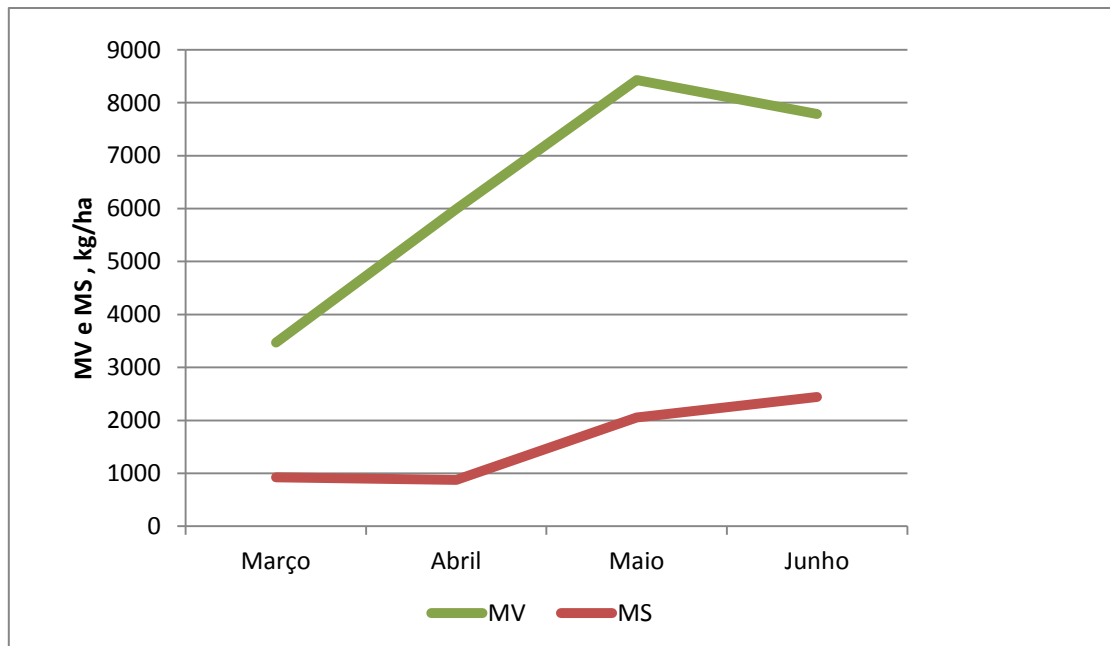


Figura 18 - Evolução da produtividade média da pastagem, em termos de kg de matéria verde (MV) e matéria seca (MS) por hectare na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

O padrão espacial da MS foi diferente do da MV, com baixas produtividades em Março e Abril e uma recuperação na zona Norte da parcela em Maio, a qual se estendeu a praticamente toda a parcela em Junho. A Figura 21 ilustra a evolução espacial e temporal da humidade da pastagem. Em Março a predominância de valores relativamente baixos de humidade da pastagem (< 70%) reflectiam o contributo importante da zona central da parcela onde se acumulou pastagem senescente do ano anterior. Entre Abril e Junho verificou-se o padrão esperado, com predominância de áreas com valores de humidade superiores a 80% em Abril, 70 a 80% em Maio e 60 a 70% em Junho, reflectindo a evolução normal da pastagem ao longo do ciclo vegetativo.

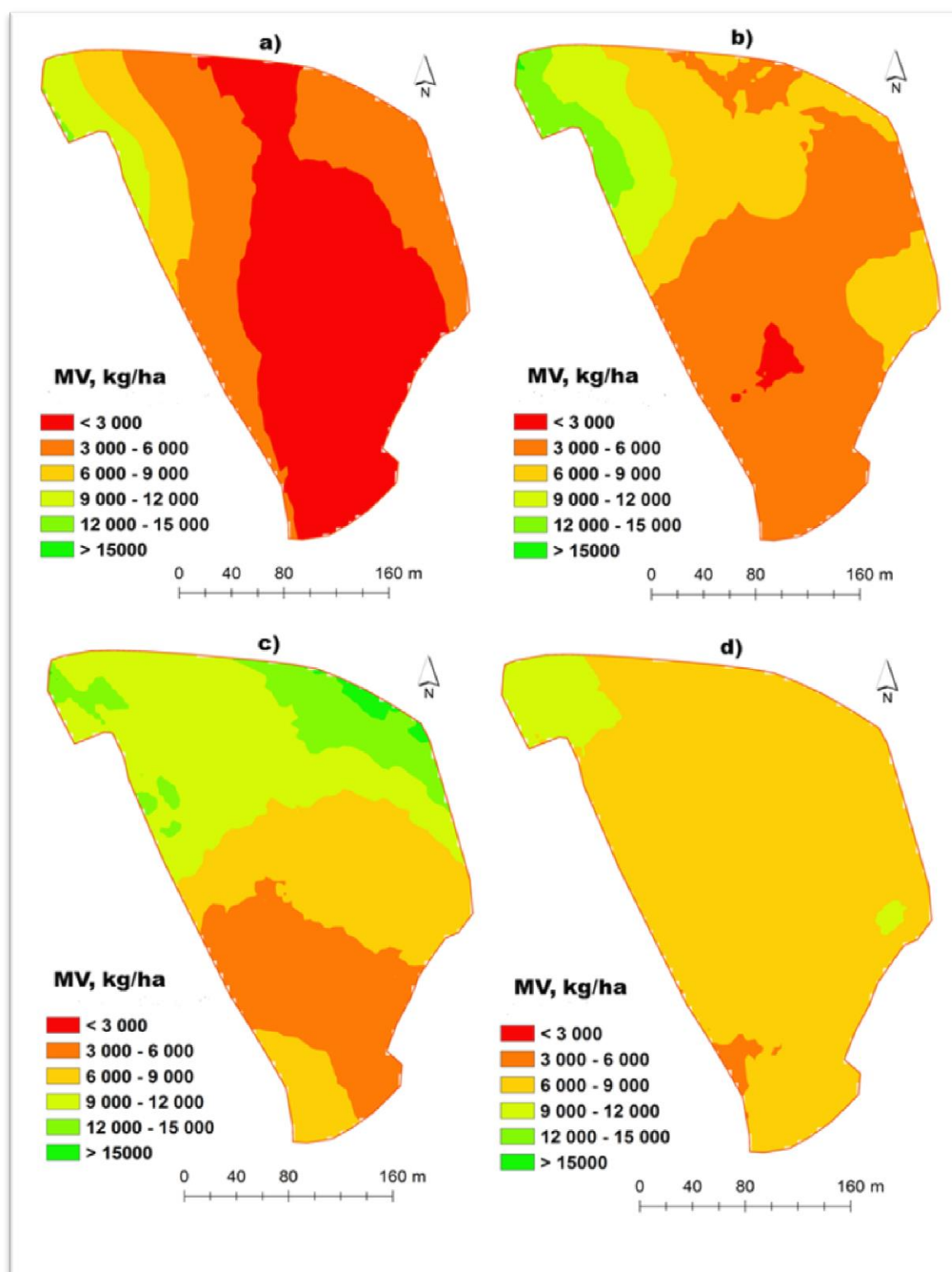


Figura 19 - Mapas da produtividade da pastagem, em termos de kg de matéria verde (MV)/ha, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

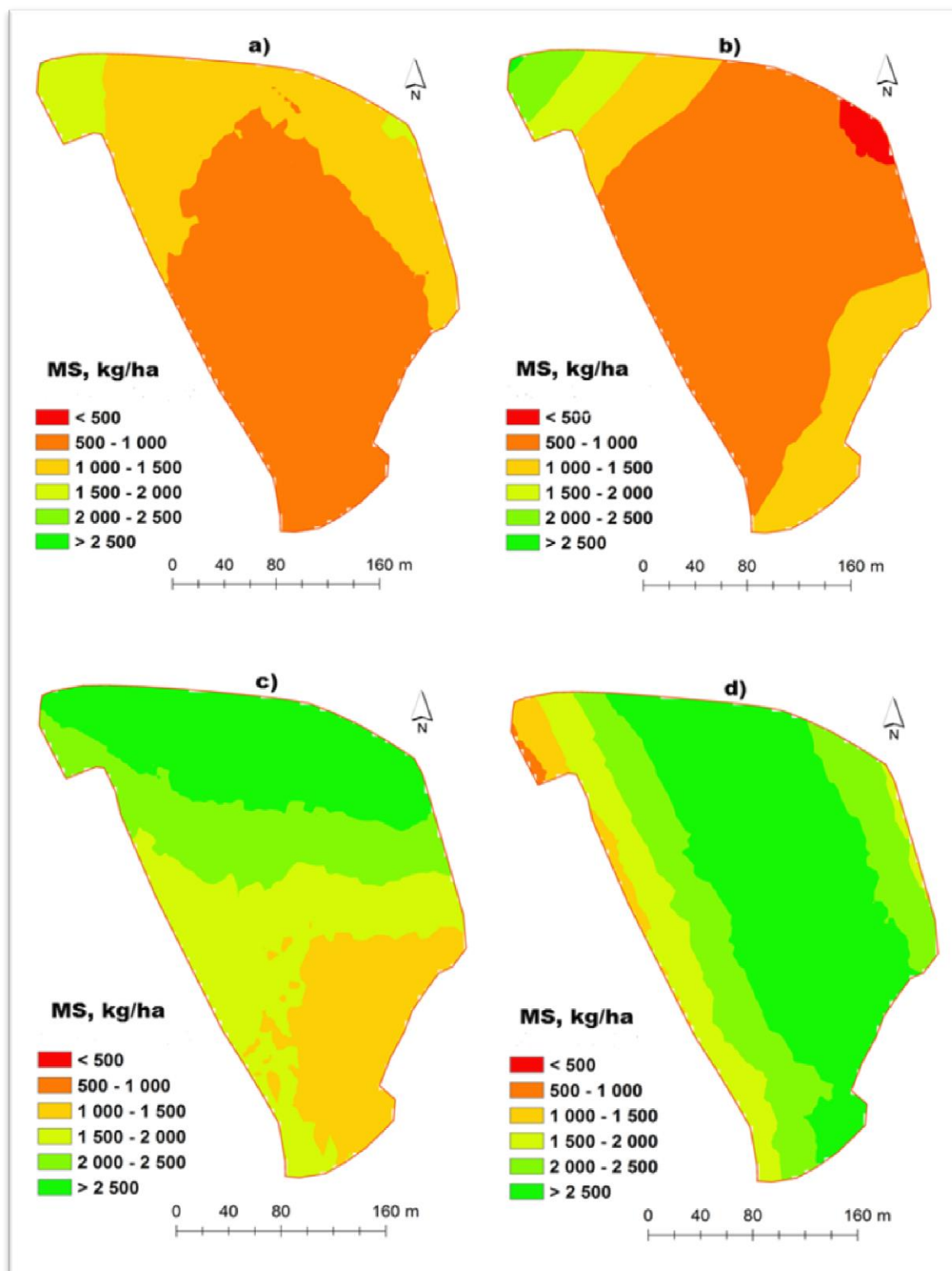


Figura 20 - Mapas da produtividade da pastagem, em termos de kg de matéria seca (MS)/ha, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

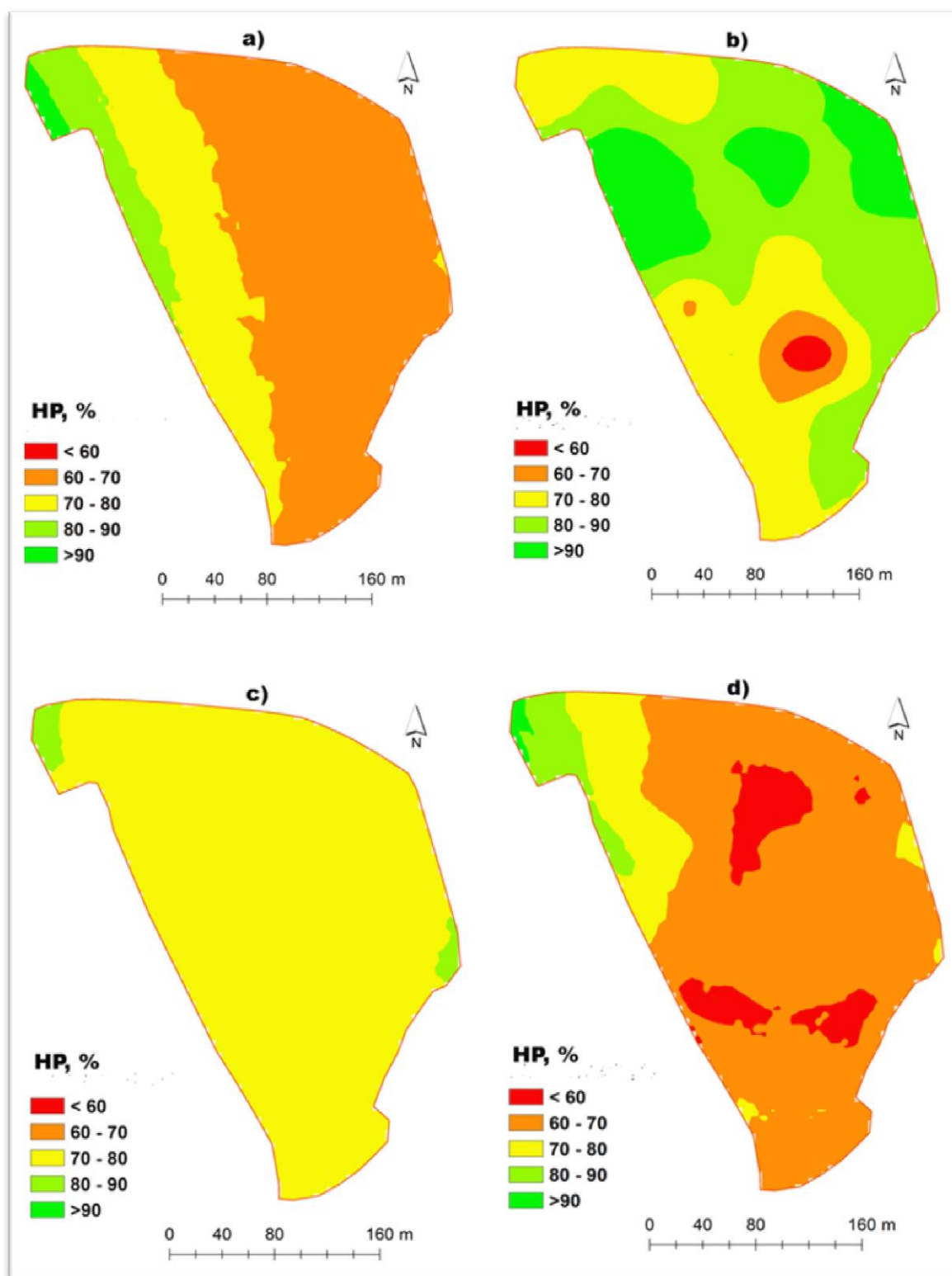


Figura 21 - Mapas da humidade da pastagem (HP), em percentagem, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

5.3 - Parâmetros medidos por sensores próximos

A utilização de sensores na agricultura tem despertado interesse devido à sua versatilidade em estimar variáveis biofísicas da vegetação, como o vigor, a forma, a área e a sua condição (Serrano *et al.*, 2016a). A utilização de tecnologias de informação permite a monitorização das variações espaciais e temporais das variáveis de interesse, aspecto essencial no processo de tomada de decisão (Serrano *et al.*, 2014; Pinho *et al.*, 2015). O Quadro 2 apresenta os parâmetros medidos pelos sensores no conjunto dos 47 pontos de amostragem na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016. Os parâmetros medidos foram: o NDVI, a capacitância e a T_{iv} , que foram avaliados utilizando o sensor óptico “OptRx®”, a sonda de capacitância “Grassmaster II” e a câmara térmica de infravermelhos “ThermCAM”, respectivamente. As variabilidades espaciais e temporais das características da pastagem encontram-se reflectidas nos intervalos de variação dos parâmetros medidos pelos sensores. Em qualquer dos parâmetros medidos registaram-se variações na mesma data de amostragem do simples para mais do dobro.

Quadro 2 - Parâmetros medidos pelos sensores próximos no conjunto dos 47 pontos de amostragem na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

Parâmetros	Média \pm DP	CV, %	Intervalo de variação
<u>NDVI</u>			
Março	0,653 \pm 0,112	17,16	[0,40 - 0,870]
Abril	0,689 \pm 0,096	13,93	[0,47 - 0,860]
Maio	0,640 \pm 0,091	14,22	[0,51 - 0,860]
Junho	0,502 \pm 0,094	18,73	[0,30 - 0,700]
<u>Capacitância</u>			
Março	4930 \pm 1390	28,19	[3475 - 9907]
Abril	6717 \pm 1678	24,98	[4110 - 10838]
Maio	8131 \pm 2396	29,47	[4431 - 14281]
Junho	6675 \pm 2231	33,42	[3932 - 13707]
<u>T_{iv}, °C</u>			
Março	18,63 \pm 3,62	19,43	[12,40 - 28,10]
Abril	23,72 \pm 4,47	18,84	[15,90 - 36,50]
Maio	22,19 \pm 2,97	13,38	[17,70 - 31,00]
Junho	24,70 \pm 5,90	23,89	[11,80 - 40,10]

DP - Desvio padrão; CV - Coeficiente de variação; T_{iv} - Temperatura medida pela câmara de infravermelhos.

5.3.1 - Índice de vegetação - NDVI

O NDVI é um índice que permite quantificar a cobertura do solo por vegetação ao longo do ciclo vegetativo (Martins, 2015; Serrano *et al.*, 2016a). O Quadro 2 permite verificar CV relativamente baixos (entre 13 e 17 %) do NDVI nas quatro datas de avaliação quando comparados com os CV da produtividade da pastagem. O valor médio do NDVI manteve-se relativamente elevado entre Março e Maio (com um pico em Abril), apresentando um claro decréscimo em Junho (Figura 22). Esta evolução reflecte as condições meteorológicas do ano agrícola 2015-2016 (ver Figura 10), com valores de precipitação anormalmente elevados especialmente em Maio, os quais permitiram manter a vegetação relativamente verde durante todo este mês. A significativa diminuição verificada neste índice em Junho foi consequência do efeito da subida da temperatura e da diminuição da humidade disponível no solo sobre a cobertura vegetal, a qual sofreu um acelerado processo de secagem e consequente perda de vigor vegetativo, como comprovam os valores da humidade da pastagem (ver Figura 21). O padrão temporal do NDVI da pastagem encontra-se reflectido nos mapas da Figura 23. Em termos espaciais os maiores valores de NDVI foram registados sistematicamente em zonas constituídas essencialmente por leguminosas (na zona Noroeste e na zona Sudeste da parcela), facto já revelado por Serrano *et al.* (2016a) num estudo comparativo entre espécies botânicas. A comparação destes mapas com homólogos do ano anterior na mesma parcela (Barreto, 2015) evidencia valores mais elevados de NDVI no ano de 2016, o que traduz o efeito da maior disponibilidade de água no solo sobre a produtividade das pastagens de sequeiro Mediterrânicas (Piao *et al.*, 2006; Murray *et al.*, 2007; Barreto, 2015; Serrano *et al.*, 2016a,b).

5.3.2 - Capacitância

Os métodos indirectos de estimativa da produtividade da pastagem, como é o caso da avaliação da capacitância (CMR, “*corrected meter readings*”), são métodos não destrutivos e visam reduzir o trabalho minucioso que exige o processo de determinação directa (Serrano *et al.*, 2009).

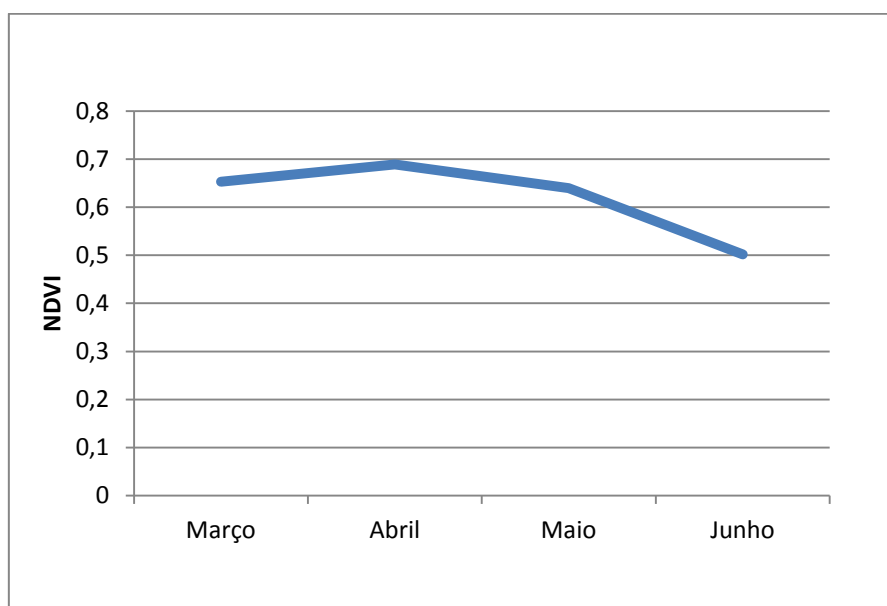


Figura 22 - Evolução do índice de vegetação NDVI médio na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

No Quadro 2 é possível verificar que a CMR evoluiu positivamente ao longo da Primavera, atingindo um valor máximo em Maio, a que se seguiu uma natural quebra em Junho (Figura 24), o que espelha o desenvolvimento da vegetação ao longo do ciclo vegetativo já representado pela evolução dos valores médios da MV e da MS. A Figura 25 ilustra os padrões espaciais da CMR, entre Março e Junho de 2016. É possível verificar a existência de valores mais elevados de capacitância nas zonas com melhor drenagem, onde persistem as leguminosas (Noroeste da parcela), com maior produtividade e correspondendo-lhe também índices de vegetação (NDVI) mais elevados. Pelo contrário, zonas sub arbóreas (zona central Oeste da parcela), com reduzida exposição solar, revelam sistematicamente baixas produtividades, com a correspondente quebra dos índices de vegetação e dos valores de capacitância.

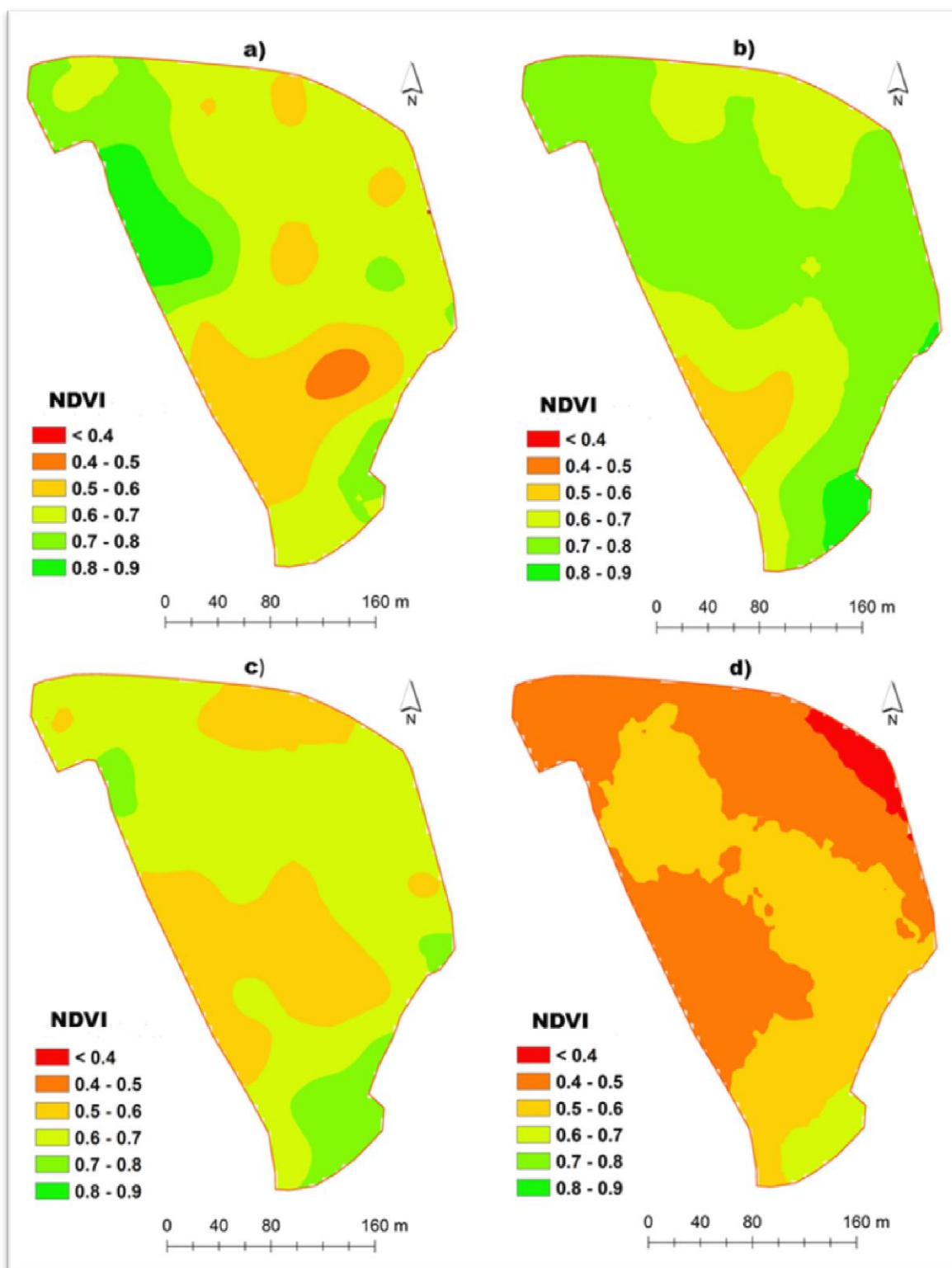


Figura 23 - Mapas ilustrativos da variação temporal e espacial do NDVI, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

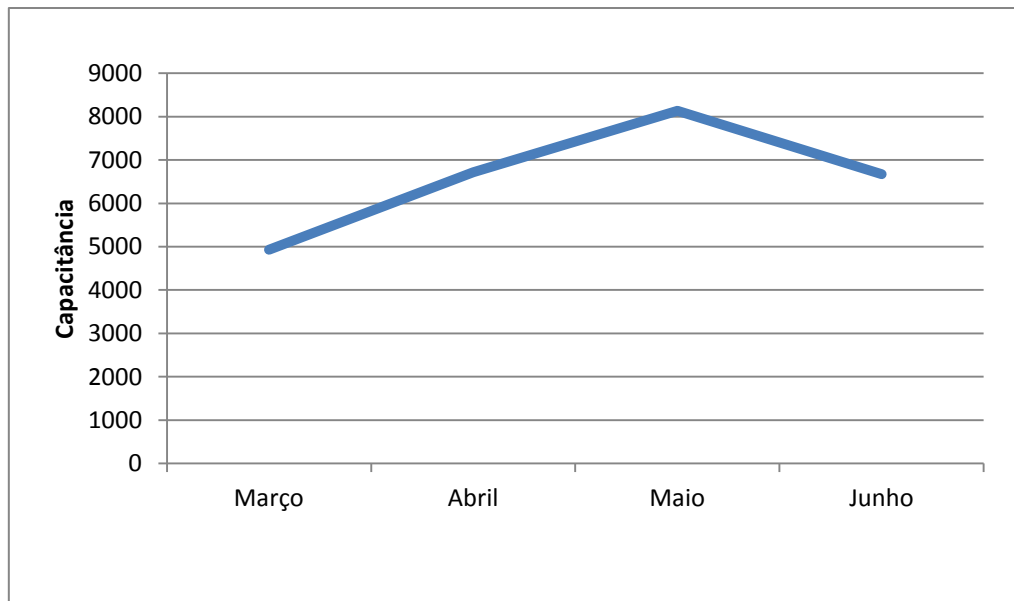


Figura 24 - Evolução da capacitância (CMR) média na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

5.3.3 - Temperatura

A utilização de câmaras térmicas de infravermelhos constitui um método não evasivo e rápido de avaliação do stress hídrico da planta ao longo do ciclo vegetativo (Saraiva *et al.*, 2014; Barbosa *et al.*, 2016). A temperatura é uma das variáveis que mais influencia o metabolismo da planta, nomeadamente, a transpiração foliar e a capacidade fotossintética (Barbosa *et al.*, 2016; Vaz *et al.*, 2016).

O Quadro 2 indica que a temperatura medida pela câmara térmica de infravermelhos (T_{iv}) apresentou CV relativamente baixos (entre 15-25%) nas quatro datas de avaliação, sendo resultados semelhantes aos obtidos com o NDVI. De acordo com o Quadro 2, a T_{iv} foi evoluindo positivamente ao longo dos meses de Primavera, atingindo um valor máximo em Junho (Figura 26).

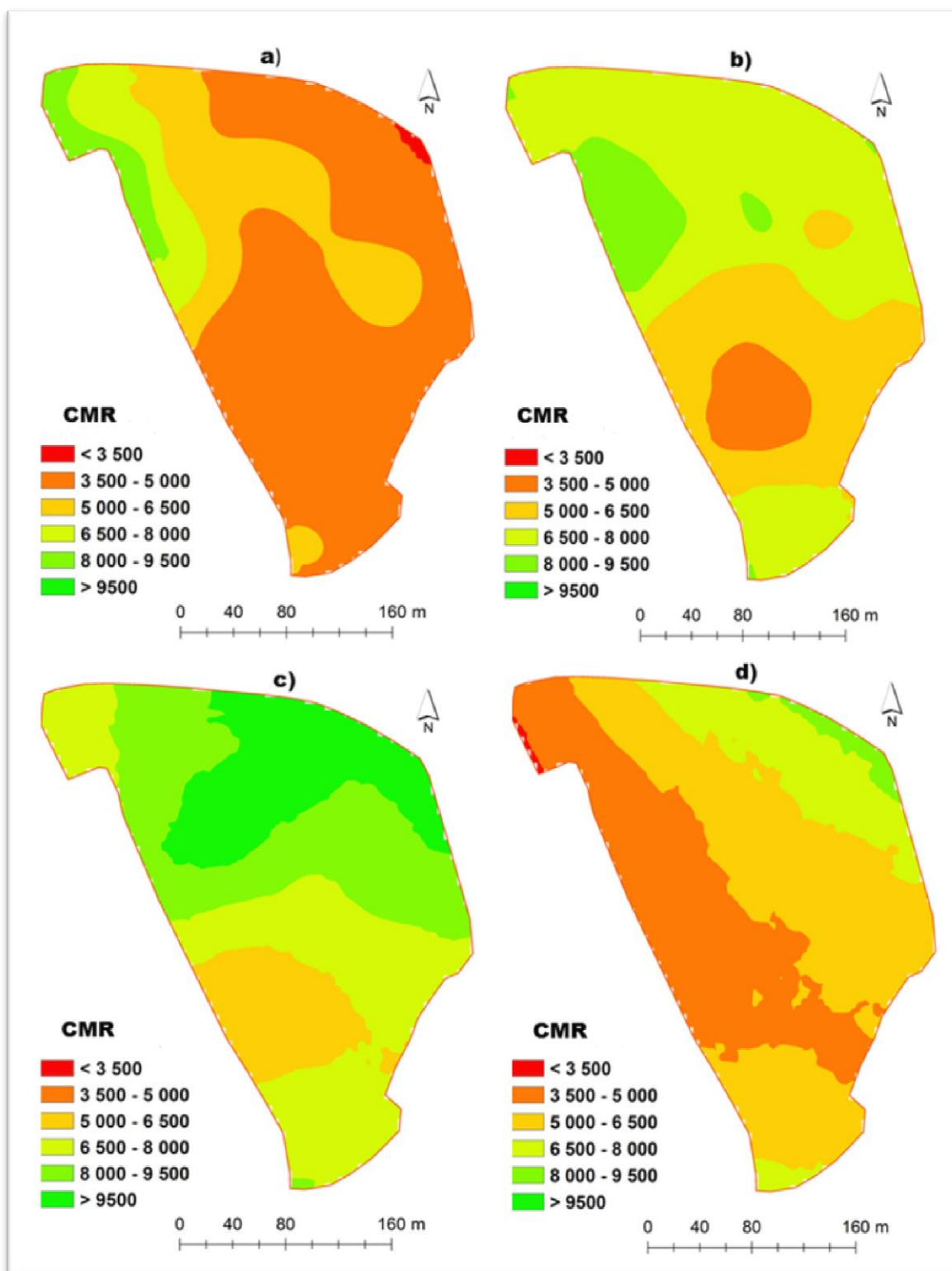


Figura 25 - Mapas ilustrativos da variação temporal e espacial da capacitância, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

Apesar da normal evolução das temperaturas nos meses de Primavera, é possível verificar que em Maio ocorreu um ligeiro decréscimo da T_{iv} , situação explicada pela quantidade de precipitação verificada neste mês, influenciando significativamente o normal desenvolvimento da pastagem. O intervalo de variação da T_{iv} reflecte a elevada variabilidade presente na parcela, nomeadamente, a existência de zonas sub arbóreas, zonas com exposição solar e zonas sem cobertura vegetal. A Figura 28 representa a evolução espacial da T_{iv} , na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016. É possível verificar que a zona Noroeste da parcela, com cobertura arbórea, registou recorrentemente ao longo do ciclo vegetativo os menores valores de T_{iv} . Em contrapartida, zonas expostas (zona central da parcela) registaram valores mais altos de T_{iv} . Em Junho os valores mais baixos de temperatura registaram-se na zona central Este da parcela, junto à linha de água, caracterizada também por importante densidade arbórea.

5.4 - Parâmetros de qualidade da pastagem

O conhecimento dos parâmetros indicadores da qualidade da pastagem permite evidenciar várias zonas com diferentes potenciais vegetativos, o que pode justificar a gestão diferenciada, por exemplo da fertilização ou da sementeira (Serrano *et al.*, 2014). O Quadro 3 resume a estatística descritiva referente aos parâmetros da qualidade da pastagem em termos de cinzas totais (CT), proteína bruta (PB) e fibra (NDF), em % da MS, nas treze zonas definidas na parcela da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016. Em linhas gerais, os teores em CT e PB diminuíram ao longo do ciclo vegetativo, apresentando a fibra um comportamento inverso (Figura 28), tendência que está de acordo com a evolução normal da qualidade das pastagens em sistemas agro-silvo-pastoris Mediterrânicos, reflexo das flutuações sazonais da luminosidade, da temperatura e da humidade do solo (Ferraz de Oliveira *et al.*, 2013) O CV destes parâmetros variou, nas quatro datas de avaliação, entre 10 e 35 %.

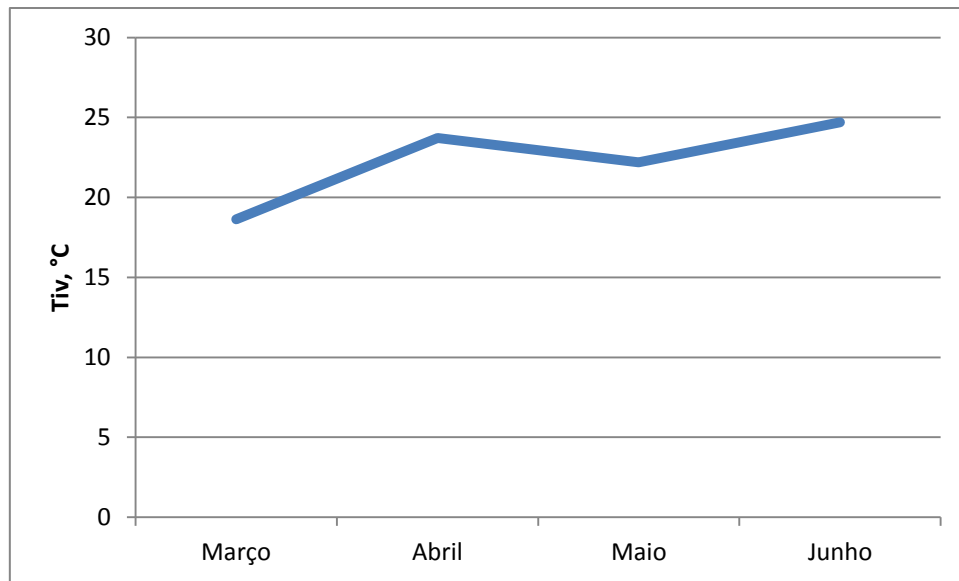


Figura 26 - Evolução da temperatura média (T_{iv} , em °C) medida pela câmara de infravermelhos na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

As Figuras 29, 30 e 31 apresentam, respectivamente, a evolução do padrão espacial das CT, da PB e do NDF, no conjunto das trezes zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016. É possível identificar algumas zonas, mas de reduzidas dimensões, onde a evolução dos valores dos parâmetros é semelhante, o que indica a existência de grandes variações dentro da parcela, fruto da elevada interacção entre as condições meteorológicas e o ecossistema Mediterrânico (Adams *et al.*, 2000; Whelan e McBratney, 2000; Ping e Dobermann, 2005; Martins 2015; Serrano *et al.*, 2015).

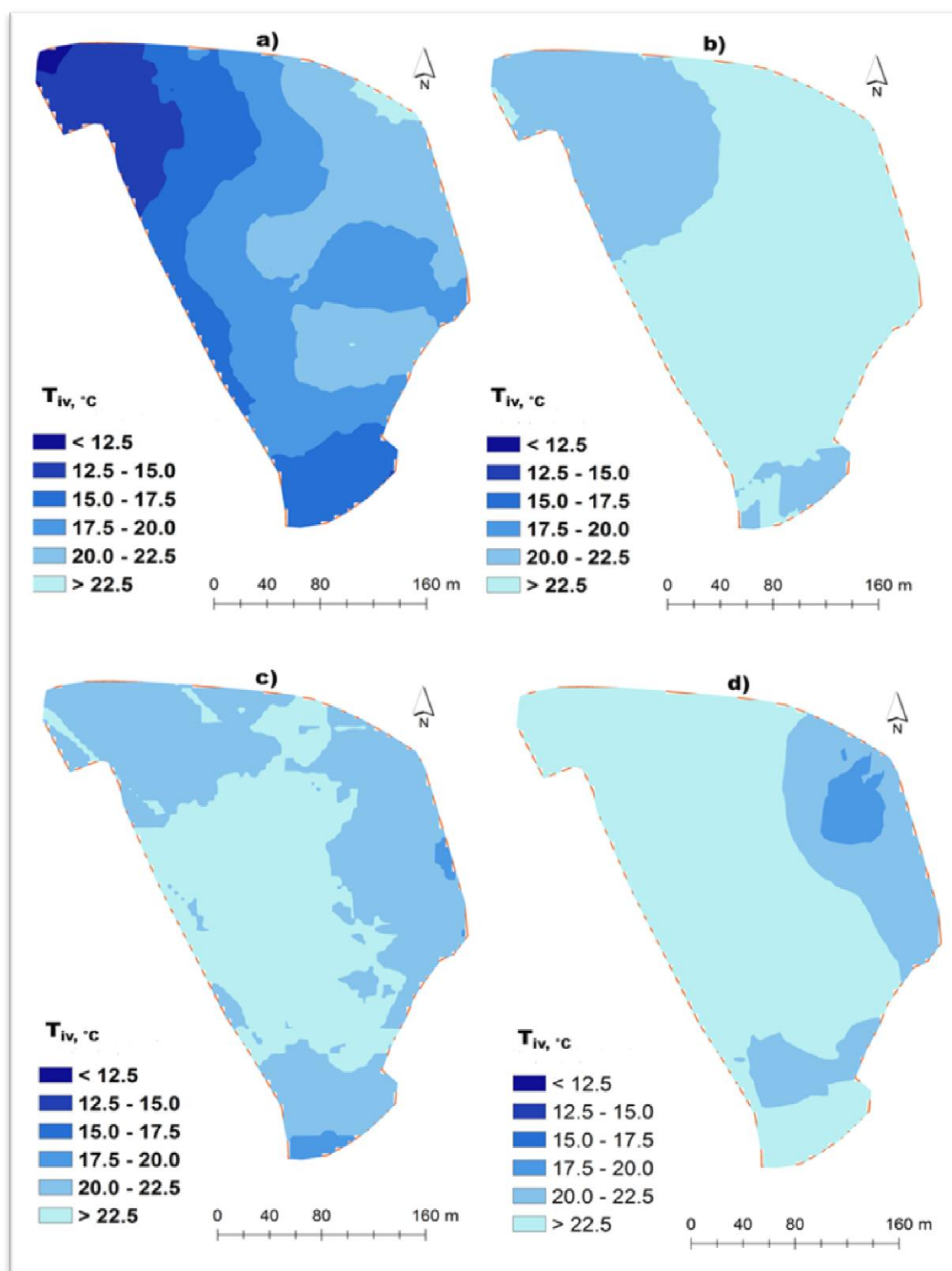


Figura 27 - Evolução espacial da temperatura da pastagem medida pela câmara térmica de infravermelhos (T_{iv}) em $^\circ\text{C}$, na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

Quadro 3 - Evolução dos parâmetros de qualidade da pastagem, em % da matéria seca (MS), no conjunto das treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

Parâmetros	Média \pm DP	CV (%)	Intervalo de variação
<u>CT, %</u>			
Março	10,94 \pm 1,75	16,00	[7,83 - 14,25]
Abril	9,58 \pm 3,07	32,05	[7,20 - 18,72]
Maio	7,86 \pm 1,39	17,68	[5,98 - 11,14]
Junho	7,64 \pm 1,57	20,55	[5,54 - 10,74]
<u>PB, %</u>			
Março	13,13 \pm 3,64	27,72	[9,18 - 20,68]
Abril	13,42 \pm 3,45	25,71	[9,23 - 23,35]
Maio	11,59 \pm 3,20	27,61	[8,63 - 19,94]
Junho	9,18 \pm 3,19	34,75	[6,73 - 17,85]
<u>NDF, %</u>			
Março	49,20 \pm 11,03	22,42	[30,52 - 61,76]
Abril	56,15 \pm 7,42	13,21	[37,89 - 65,08]
Maio	62,19 \pm 7,79	12,53	[43,42 - 69,59]
Junho	66,78 \pm 6,88	10,30	[49,79 - 77,86]

DP - Desvio padrão; CV - Coeficiente de variação; CT - Cinzas totais; PB - Proteína bruta; NDF - Fibra ("Neutral Detergent Fiber").

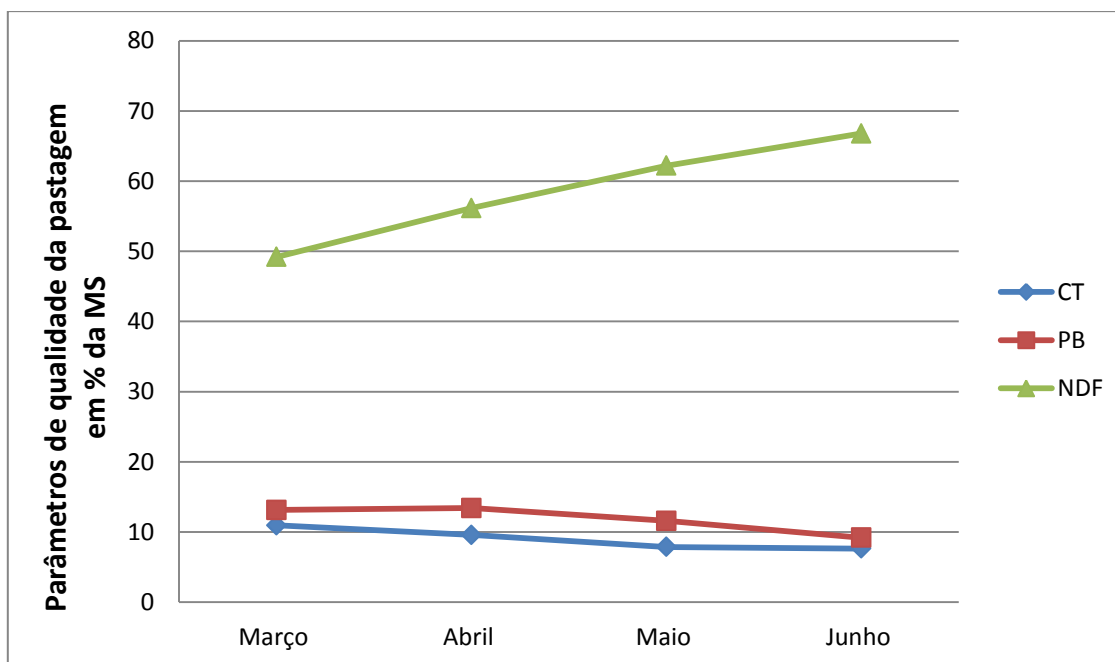


Figura 28 - Evolução da qualidade da pastagem, em termos de cinzas totais (CT), proteína bruta (PB) e fibra (NDF), em % da matéria seca (MS), na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

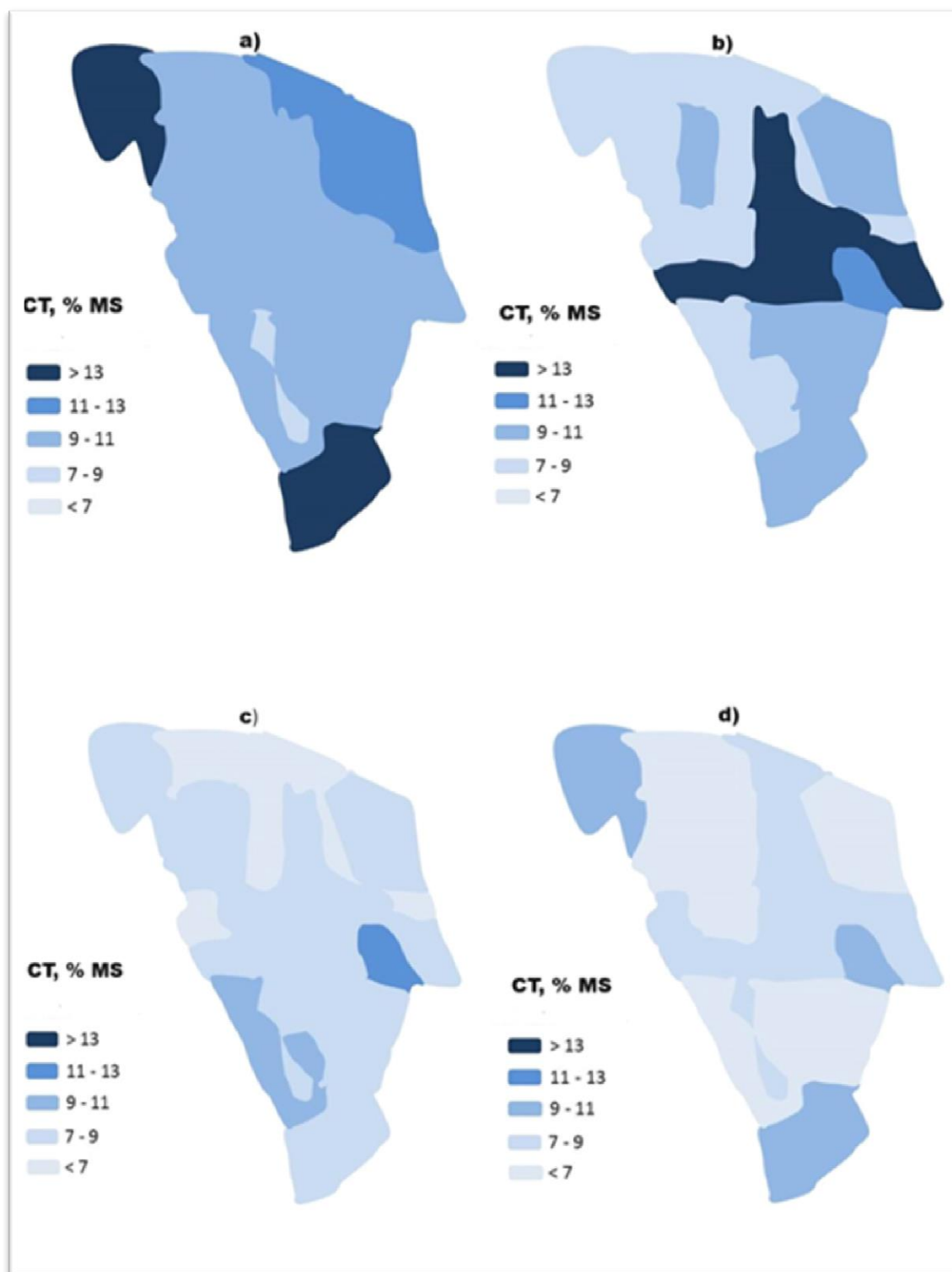


Figura 29 - Mapas da variação espacial das cinzas totais (CT, em % da MS), nas treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

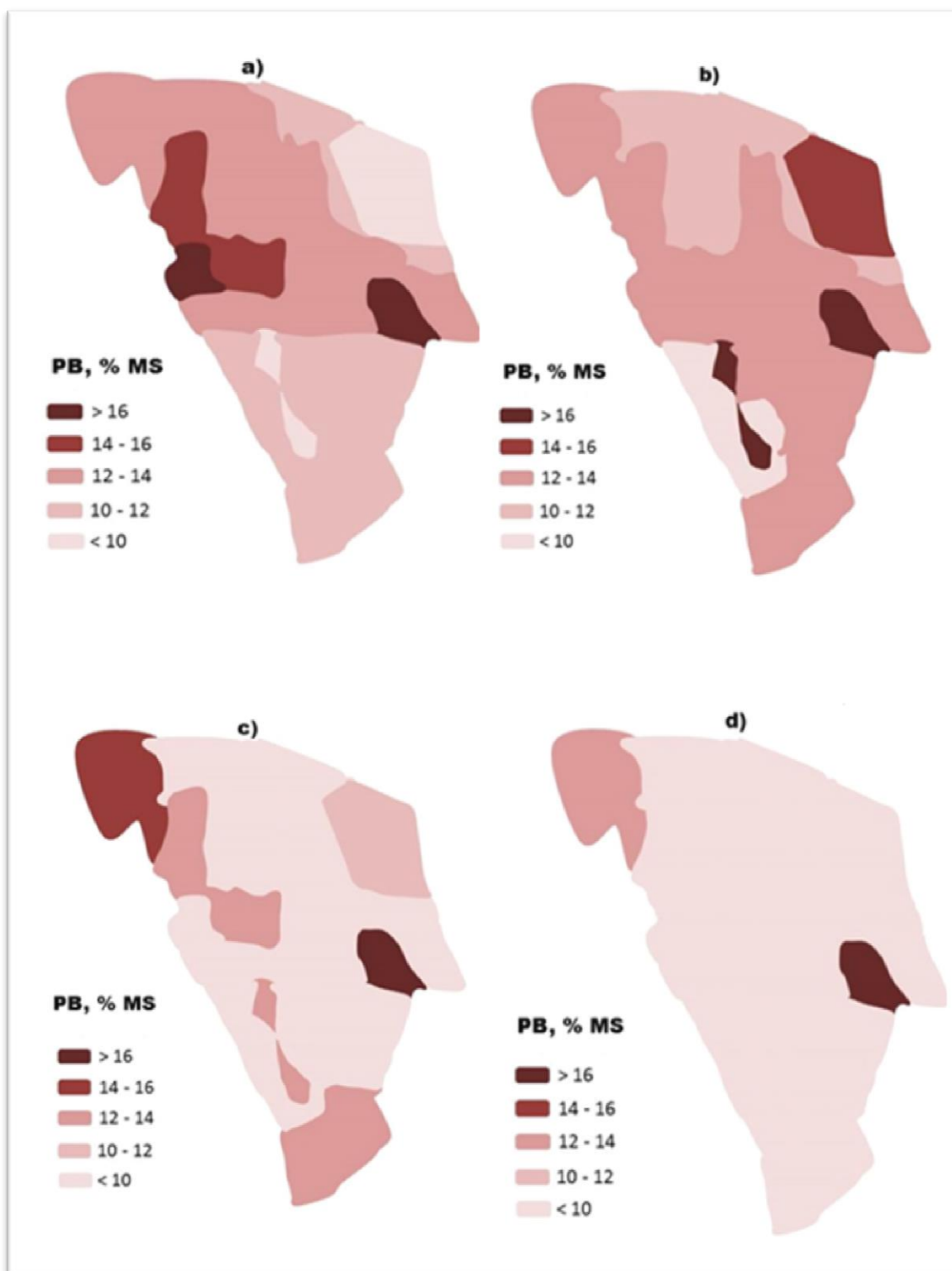


Figura 30 - Mapas da variação espacial da proteína bruta (PB, em % da MS), nas treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

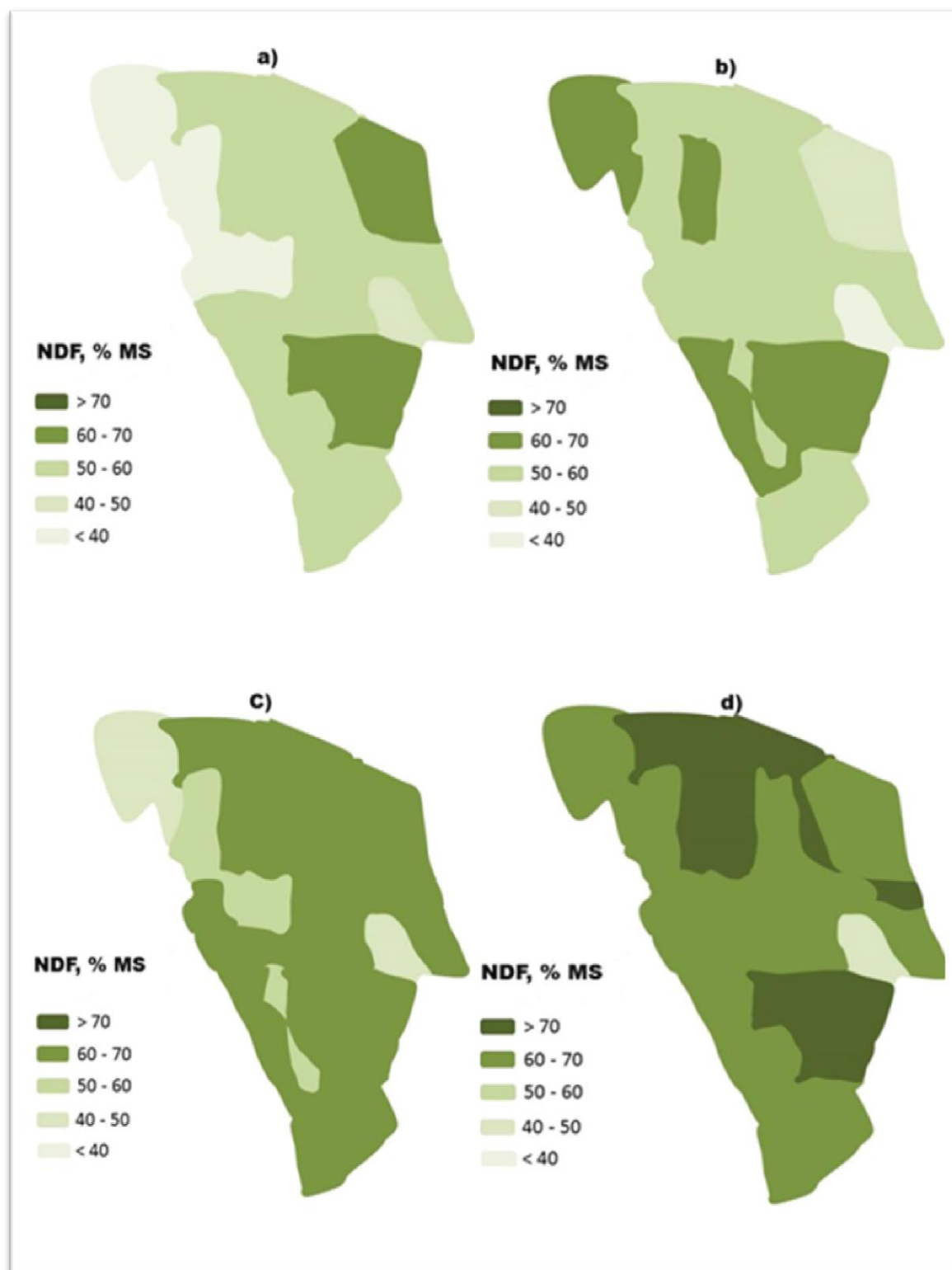


Figura 31 - Mapas da variação espacial da fibra (NDF, em % da MS), nas treze zonas da Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016 (a - Março; b - Abril; c - Maio; d - Junho).

O Quadro 4 apresenta os coeficientes de correlação estabelecidos entre os parâmetros de qualidade da pastagem (CT, PB e NDF), entre Março e Junho de 2016. Destaca-se nesta análise a correlação positiva e relativamente forte entre o teor em PB e o teor em CT em Maio e Junho e a correlação negativa entre estes dois parâmetros (CT e PB) e o teor de fibra (NDF). Esta relação inversa é particularmente forte (“r” entre -0,74 e -0,90) entre a PB e o NDF, o que seria expectável uma vez que a tendência natural ao longo do ciclo vegetativo da pastagem é para diminuição dos teores de PB e, portanto de qualidade, com o correspondente aumento dos teores de fibra (Ferraz de Oliveira *et al.*, 2013).

Quadro 4 - Coeficientes de correlação (“r”) entre parâmetros de qualidade da pastagem (cinzas totais, CT; proteína bruta, PB; e fibra, NDF), entre Março e Junho de 2016.

<i>Parâmetros</i>	CT, % MS	PB, % MS	NDF, % MS
<u><i>Março</i></u>			
<i>CT, % MS</i>	1	ns	ns
<i>PB, % MS</i>	-	1	-0,744**
<i>NDF, % MS</i>	-	-	1
<u><i>Abril</i></u>			
<i>CT, % MS</i>	1	ns	ns
<i>PB, % MS</i>	-	1	-0,783**
<i>NDF, % MS</i>	-	-	1
<u><i>Maio</i></u>			
<i>CT, % MS</i>	1	0,621*	-0,623*
<i>PB, % MS</i>	-	1	-0,899**
<i>NDF, % MS</i>	-	-	1
<u><i>Junho</i></u>			
<i>CT, % MS</i>	1	0,769**	-0,586*
<i>PB, % MS</i>	-	1	-0,837**
<i>NDF, % MS</i>	-	-	1

** - Correlação significativa com um grau de confiança de 99 %; * - Correlação significativa com um grau de confiança de 95 %; ns - Correlação não significativa.

O interesse na medição dos parâmetros de qualidade da pastagem está ligado à necessidade que o gestor agrícola tem de avaliar as necessidades de suplementação alimentar dos animais. O momento crítico para este efeito, em sistemas pecuários baseados em pastagens de sequeiro acontece normalmente no final da Primavera ou início do Verão, dependendo do ano agrícola, altura em que a degradação da qualidade da pastagem pode levar a perda de peso dos animais (Pullanagari *et al.*, 2011; Serrano *et al.*, 2014).

5.5 - Análise de correlação entre os parâmetros medidos pelos sensores e os parâmetros da pastagem

A monitorização da pastagem, nomeadamente da sua variabilidade, é fundamental no apoio à tomada de decisão do gestor agrícola e justifica o interesse em avaliar ferramentas expeditas que facilitem o processo de recolha de dados (Serrano *et al.*, 2014; Serrano *et al.*, 2016a). A facilidade de utilização e a capacidade de trabalho dos sensores próximos, como o sensor óptico ou a sonda de capacitância, abrem boas perspectivas para o desenvolvimento nos próximos anos de sistemas expeditos e relativamente fiáveis no levantamento da variabilidade das pastagens biodiversas do Alentejo (Serrano *et al.*, 2016a,b). É, portanto, de extrema actualidade e interesse reunir informação sobre as potencialidades destes e de outros sensores na estimativa de parâmetros relacionados com a produtividade ou com o valor nutritivo da pastagem em condições bastante diversas, nomeadamente no que se refere a diferentes tipos de pastagem e em diferentes fases de desenvolvimento. Neste trabalho procedeu-se ao estabelecimento de correlações entre: (i) a capacitância e a produtividade da pastagem; (ii) o NDVI e a produtividade, a qualidade e a capacitância da pastagem.

5.5.1 - Correlação entre a capacitância e os parâmetros de produtividade da pastagem

O Quadro 5 apresenta os coeficientes de correlação entre a capacitância e os parâmetros de produtividade da pastagem obtidos para cada data de avaliação. É possível constatar que a capacitância apresenta correlações mais fortes com a MV (da ordem dos 0,72-0,76 entre Março e Maio) do que com a MS (0,58 em Março e 0,68 em

Maio). Este comportamento reflecte o princípio de funcionamento da sonda de capacitância, a qual é sensível ao teor de humidade da pastagem. Estes dados comprovam os resultados obtidos por Barreto (2015), tendo este justificado as correlações mais fracas da CMR com a MS por interferência do material senescente que permaneceu na pastagem no final do ciclo vegetativo em consequência da reduzida intensidade de pastoreio animal na parcela em estudo. Por outro lado, os coeficientes de correlação da capacitância com a produtividade da pastagem diminuíram ao longo do ciclo vegetativo, sendo a quebra especialmente evidente em Junho, quando os teores de humidade da pastagem diminuíram drasticamente, resultado também registado por Serrano *et al.* (2016b) num estudo realizado com um leque muito diverso de tipos de pastagens Mediterrânicas e estados de desenvolvimento.

Quadro 5 - Coeficientes de correlação (“r”) entre a capacitância e os parâmetros de produtividade da pastagem (matéria verde, MV e matéria seca, MS), entre Março e Junho de 2016.

Parâmetros	MV, kg/ha	MS, kg/ha
<u>Capacitância</u>		
Março	0,762**	0,575**
Abril	0,756**	ns
Maio	0,724**	0,679**
Junho	0,309*	0,346*

MV - Matéria verde; MS - Matéria seca; ** - Correlação significativa com um grau de confiança de 99 %;

* - Correlação significativa com um grau de confiança de 95 %; ns - Correlação não significativa.

Estes resultados reforçam os estudos de Barreto (2015) e Serrano *et al.* (2016a,b), mostrando o potencial desta ferramenta (sonda de capacitância) para monitorização expedita da produtividade das pastagens permanentes de sequeiro do Alentejo, mas evidenciando também o interesse em utilizar a sonda preferencialmente nas fases do ciclo vegetativo que antecedem o pico de produção primaveril, antes da pastagem começar a perder drasticamente humidade (Serrano *et al.*, 2016b). Esta estimativa permitirá ao gestor agrícola organizar com antecipação o manejo animal, em termos de encabeçamento e de necessidades de suplementação.

5.5.2 - Correlação entre o NDVI, a produtividade, a qualidade e a capacidade da pastagem

O Quadro 6 apresenta os coeficientes de correlação entre o NDVI e os parâmetros da pastagem (produtividade, qualidade e capacidade), na Quinta da Silveira, entre Março e Junho de 2016.

A correlação entre o NDVI e a produtividade da pastagem foi significativa em Março e Abril em termos de MV e apenas em Março em termos de MS, em qualquer dos casos, apresentando coeficientes de correlação moderados a fracos. Atendendo ao princípio de funcionamento do sensor óptico, o qual é sensível ao vigor vegetativo, apresentando índices mais elevados quando as plantas apresentam maior teor em clorofila (maior capacidade de reflexão da luz emitida pelo sensor), é normal que os valores de NDVI sejam mais elevados em zonas mais produtivas. No entanto, vários autores têm levantado a dificuldade inerente à utilização destes sensores para determinação da biomassa devido à saturação que pode ocorrer para produtividades elevadas, a qual é dependente das espécies botânicas, da morfologia e da concentração de clorofila nas folhas (Schaefer e Lamb, 2016). Estes resultados justificam, por isso, a realização de ensaios complementares para procurar melhorar a estimativa da produtividade a partir de medições de índices de vegetação. A este propósito, Schaefer e Lamb (2016) sugerem mesmo que as medições do NDVI sejam complementadas com a medição de outros parâmetros físicos da pastagem, por exemplo a altura.

Quadro 6 - Coeficiente de correlação (“r”) entre o NDVI e os parâmetros da pastagem (produtividade, qualidade e capacidade) entre Março e Junho de 2016.

Parâmetros	MV, kg/ha	MS, kg/ha	CT, % MS	PB, % MS	NDF, % MS	Capacidade
<u>NDVI</u>						
Março	0,556**	0,304*	ns	0,804**	0,865**	0,648**
Abril	0,547**	ns	ns	0,460*	-0,470*	0,570**
Maio	ns	ns	ns	0,744**	-0,540*	ns
Junho	ns	ns	0,586*	0,450*	ns	ns

** - Correlação significativa com um grau de confiança de 99 %; * - Correlação significativa com um grau de confiança de 95 %; ns - Correlação não significativa; MV - Matéria verde; MS - Matéria seca; CT - Cinzas totais; PB - Proteína bruta; NDF - Fibra (“Neutral Detergent Fiber”).

Ainda no Quadro 6 é possível verificar que a correlação do NDVI com parâmetros de qualidade da pastagem não foi consistente no caso das CT ou do NDF, no entanto, a correlação do NDVI com a PB foi bastante interessante, com coeficientes de determinação da ordem dos 0,7-0,8 em Março e Maio. Atendendo à importância para o gestor agrícola do conhecimento da evolução do valor nutritivo da pastagem, estes resultados abrem boas perspectivas para a realização de estudos que possam contribuir para um melhor conhecimento da relação entre estas duas variáveis (qualidade da pastagem, avaliada a partir da PB *versus* NDVI, medido de forma expedita pelo sensor óptico). O interesse por esta correlação é ainda maior em face das possibilidades que a detecção remota, baseada em imagens de satélite, apresenta na determinação de índices diversos (entre eles o NDVI), não só pelo baixo custo, como pela velocidade de processamento e pela escala de resposta (Pullanagari *et al.*, 2013).

Foi ainda estabelecida a correlação entre o NDVI e a capacitância (CMR), verificando-se coeficientes significativos em Março e Abril. Esta relação foi também demonstrada por Serrano *et al.* (2016a), baseada no princípio de funcionamento dos dois sensores: por um lado a sonda de capacitância é sensível à humidade da pastagem, a qual tende a ser mais elevada em pastagens com mais biomassa (MV); por outro lado, o sensor óptico mede valores mais altos de NDVI em áreas com maior densidade de vegetação fotossinteticamente activa, que também correspondem a zonas de maior produtividade. A falta de correlação entre o NDVI e a capacitância nos meses de Maio e Junho poderá estar relacionada com a quebra significativa da humidade da pastagem, factor decisivo na fiabilidade das medições realizadas com a sonda de capacitância (Serrano *et al.*, 2016b). Em termos práticos, estes resultados parecem indiciar a possibilidade de utilizar estas duas tecnologias de forma complementar, com vantagem para a sonda de capacitância na estimativa da produtividade da pastagem, mostrando os sensores ópticos maior aplicabilidade ao nível da estimativa da qualidade da pastagem, particularmente ao nível da PB.

6 - Conclusões

A agricultura enfrenta actualmente inúmeros desafios, nomeadamente relacionados com as alterações climáticas ou com a volatilidade dos preços de mercado, os quais levam à necessidade do gestor agrícola encontrar soluções que permitam manter a actividade agrícola economicamente competitiva e sustentável do ponto de vista ambiental. Nesta perspectiva, é fundamental a utilização eficiente dos factores de produção, pelo que, a monitorização espacial da evolução das pastagens ao longo do seu ciclo vegetativo assume-se como um desígnio no apoio à tomada de decisão. Estes desafios exigem também que o agricultor se mantenha actualizado e informado sobre a disponibilidade de tecnologias que permitam otimizar o processo produtivo. É nesta óptica que se desenvolve este trabalho, integrado num projecto de investigação que visa avaliar e monitorizar ferramentas tecnológicas de apoio ao levantamento da variabilidade das pastagens Mediterrânicas como pilar de suporte ao conhecimento e à gestão diferenciada.

O objectivo principal deste trabalho consistiu na avaliação de tecnologias com potencial para monitorizar a variabilidade do solo, da produtividade e da qualidade da pastagem. Foram avaliados quatro tipos de sensores: um medidor de condutividade eléctrica aparente do solo ("*DUALEM 1S*"), uma câmara térmica de infravermelhos ("*ThermCAM*"), um sensor óptico activo ("*OptRx*[®]") e uma sonda de capacitância ("*Grassmaster II*").

Os resultados obtidos demonstraram, em geral, as potencialidades dos sensores próximos na monitorização da evolução das pastagens Mediterrânicas ao longo do seu ciclo vegetativo. A medição da condutividade eléctrica aparente do solo permitiu o estabelecimento de zonas de amostragem, etapa inicial do ciclo de AP. A utilização da câmara térmica de infravermelhos, por outro lado, revelou a acentuada variabilidade espacial e temporal da temperatura da superfície da pastagem, factor decisivo no desenvolvimento diferenciado da cultura em termos de produtividade e de qualidade. A estimativa da produtividade e da qualidade das pastagens constitui a base de cálculo do encabeçamento animal. No que se refere à utilização da sonda "*Grassmaster II*", os resultados obtidos mostraram correlações significativas e relativamente fortes

(coeficientes de correlação entre 0,72-0,76) ao longo dos meses de Março, Abril e Maio, entre a capacitância e a produtividade da pastagem (kg de biomassa/ha). As correlações entre o índice de vegetação NDVI e a produtividade da pastagem, apesar de significativas no início da Primavera (Março e Abril), apresentaram coeficientes moderados (da ordem dos 0,55), resultados que indiciam a dificuldade inerente à utilização do sensor óptico activo para determinação da biomassa devido à possível saturação que pode ocorrer para produtividades elevadas. Daqui se depreende a necessidade de complementar esta tecnologia com outros métodos expeditos para reforço da correlação. Em contrapartida, as correlações entre o índice de vegetação NDVI e a PB da pastagem foram significativas entre Março e Junho, com valores especialmente interessantes em Março e Maio (coeficientes de correlação entre 0,74-0,80). Tendo em conta que a PB é um excelente indicador da qualidade da pastagem, abrem-se boas perspectivas para a utilização pelo gestor agrícola do sensor óptico activo como método expedito para determinar a fase crítica do ano a partir da qual se torna necessário proceder a suplementação dos animais com concentrado ou com outros alimentos conservados. O potencial aqui revelado pelo sensor óptico ganha importância em pastagens de sequeiro, integradas no ecossistema de montado, no contexto de imprevisibilidade associado ao clima Mediterrânico.

.

7 - Referências bibliográficas

- Abdu, H., Robison, D. A. e Jones, S. B. (2007). Comparing bulk soil electrical conductivity determination using the DUALEM-1S and EM38-DD electromagnetic induction instruments. *Soil Science Society American Journal*, 71, 189-196.
- Adams, M. L., Cook S. e Corner, R. (2000). Managing uncertainty in site-specific management: what is the best model?. *Precision Agriculture*, 2(1), 39-54.
- AOAC Official Method. (2005b). *Ash of animal feed. Official Methods of Analysis of AOAC international*. 18th edition. AOAC international, Gaithersburg, USA.
- AOAC Official Method. (2005b). *Protein (crude) in animal feed, combustion method. Official Methods of Analysis of AOAC international*. 18th edition. AOAC international, Arlington, VA, USA.
- Barbosa, J. Z., Consalter, R., Pauletti, V. e Motta, A. C. (2016). Uso de imagens digitais obtidas com câmaras para analisar plantas. *Revista de Ciências Agrária*, 39(1), 15-24.
- Barreto, S. (2015). *Avaliação da variabilidade espacial numa pastagem permanente: novas tecnologias de apoio à gestão do ecossistema solo-planta-animal*. Tese de Mestrado. Universidade de Évora, 58pp.
- Barros, J. e Freixial, R. (2012). *Pastagens*. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia, Évora.
- Bernardi, A. C., Bettiol, G. M., Ferreira, R. P., Santos, K. E. L., Rabello, L. M. e Inamasu, R. Y. (2016). Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. *Precision Agriculture*, 17(6), 737-752.
- Braga, R. (2009). *Viticultura de Precisão*. Associação de Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa, 84 pp.
- Braga, R. e Pinto, P.A. (2011). Agricultura de precisão: adoção & principais obstáculos. *AGROTEC*, 1, 84-88.
- Bronson, K., Booker, J., Officer, S., Lascano, R., Mass, S., Searcy, S. e Booker, J. (2005). Apparent electrical conductivity, soil properties and spatial covariance in the U.S. southern high plains. *Precision Agriculture*, 6(3), 297-311.
- Carvalho, P., Anghinoni, I., Moraes, A., Souza, E., Sulc, R., Lang, C., Flores, J., Lopes, M., Silva, J., Conte, O., Wesp, C., Levien, R. e Fontaneli, R. (2010). Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(2), 259-273.

- Cauduro, G., Carvalho, P., Barbosa, C., Pilau, R., Freitas, F. e Silva, J. (2006). Comparação de métodos de medida indireta de massa de forragem em pasto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam). *Ciência Rural*, 36, 1617-1623.
- Chen, C. (2015). Determining the Leaf Emissivity of Three Crops by Infrared Thermometry. *Sensors*, 15, 11387-11401.
- Coelho, J. C. e Silva, J. M., (2009). *Agricultura de precisão*. Associação de Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa, 125 pp.
- Costanzo, A., Minasi, M., Casula, G., Musacchio, M. e Buongiorno, M. F. (2014). Combined use of terrestrial laser scanning and IR termography applied to a historical building. *Sensors*, 15, 194-213.
- Cox, S. (2002). Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 93-111.
- Crespo, D. G. (1995). Pastagens, forragens e produção animal: sistemas intensivos versus extensivos. *Pastagens e Forragens*, 16, 61-73.
- Crespo, D. G. (2011). Em tempos de crise qual o papel das pastagens e forragens no desenvolvimento da agricultura. *AGROTEC*, 1, 30-32.
- Cunha, S. (2009). *O SIG ao serviço do ordenamento do território: modelo de implementação*. Trabalho de projecto aplicado ao município de Felgueiras, Mestrado em sistemas de informação geográfica e ordenamento do território, Universidade do Porto- Faculdade de Letras, 81pp.
- Currie, P. O., Hilken, T. O. e White, R. S. (1987). Evaluation of a single probe capacitance meter for estimating herbage yield. *Journal of Range Management*, 40(6), 537-541.
- Efe Serrano, J. (2006). *Pastagens do Alentejo: bases técnicas sobre caracterização, pastoreio e melhoramento*. Universidade de Évora - ICAAM, Évora, Portugal, Gráfica Eborenses, p. 165-178.
- Ferraz de Oliveira, M. I., Lamy, E., Bugalho, M. N., Vaz, M., Pinheiro, C., Cancela d'Abreu, M., Capela e Silva, F. e Sales-Baptista, E. (2013). Assessing foraging strategies of herbivores in Mediterranean oak woodlands: a review of key issues and selected methodologies. *Agroforestry System*, 87(6), 1421-1437.
- Fortes, R., Millán, S., Prieto, M. H. e Campillo, C. (2015). A methodology based on apparent electrical conductivity and guided soil samples to improve irrigation zoning. *Precision Agriculture*, 16, 441-454.

- Gertesis, A., Fountas, D., Arpasanu, I. e Michaloudis, M. (2013). Precision Agriculture Applications in a High Density Olive Grove Adapted for Mechanical Harvesting in Greece. *Procedia Technology*, 8, 152-156.
- Grisso, R., Alley, M., Holshouser, D. e Thomason, W. (2009). Precision farming tools: soil electrical conductivity. *Virginia Cooperative Extension*, 442(508), 1-6.
- King, J., Dampney, P., Lark, R., Wheeler, H., Bradley, R. e Mayr, T. (2005). Mapping potential crop management zones within fields: use of yield-map series and patterns of soil physical properties identified by electromagnetic induction sensing. *Precision Agriculture*, 6, 167-181.
- Lopes, P. M. S., Goulão, J. N. P. e Cortez, N. R. S. (1998). A utilização de pastagens e forragens e a conservação do solo: exemplos da erosão verificada num solo litólico não húmido de xisto mosqueado na região de Castelo Branco. *Pastagens e Forragens*, 19, 61-71.
- Martins, A. (2015). *Avaliação quantitativa e qualitativa da variabilidade espacial de uma pastagem melhorada de sequeiro no Alentejo*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 70pp.
- Moral, F. J., Terrón, J. M. e Marques da Silva, J. R. (2010). Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil & Tillage Research*, 106, 335-343.
- Murray, R. I., Yule, I. J. e Gillingham, A. G. (2007). Developing variable rate application technology: modelling annual pasture production on hill country. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50(1), 41-52.
- Moreira, N. (2002). *Agronomia das forragens e pastagens*. Textos de apoio aos alunos, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 183pp.
- Numata, I., Chadwick, O. A., Schimel, J. P., Galvão, L. S. e Soares, J. V. (2008). Evalution of hyperspectral data for pasture estimate in the Brazilian Amazon using field and imaging spectrometers. *Remote Sensing of Environment*, 112, 1569-1583.
- O'shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D. e Howell, T. A. (2011). Using radiation thermography and thermometry to evaluate crop water stress in soybean and cotton. *Agricultural Water Management*, 98, 1523-1535.
- Penteado, M. (2014). *Utilização de imagens de alta resolução de detecção remota na gestão do montado de sobro*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 119 pp.

- Piao, S., Mohammat, A., Fang, J., Cai, Q. e Feng, J. (2006). NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its responses to climate changes in China. *Global Environmental Change*, 16(4), 340-348.
- Ping, J. L. e Dobermann, A. (2005). Processing of yield map data. *Precision Agriculture*, 6(2), 193-212.
- Pinho, T., Boaventura-Cunha, J. e Morais, R. (2015). Tecnologias de electrónica e de computação na recolha e integração de dados em agricultura de precisão. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(3), 291-304.
- Pinto, I. (2009). *Introdução aos sistemas de informação geográfica (SIG)*. Curso de introdução à Georreferenciação de CH&C, Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa, 31pp.
- Pullanagari, R. R., Yule, I., King, W., Dalley, D. e Dynes, R. (2011). The use of optical sensors to estimate pasture quality. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 4(1), 125-137.
- Pullanagari, R. R., Yule, I. J., Tuohy, M. P., Hedley, M. J., Dynes, R. A. e King, W. M. (2013). Proximal sensing of the seasonal variability of pasture nutritive value using multispectral radiometry. *Grass Forage Science*, 68, 110-119.
- Sales-Baptista, E., Ferraz de Oliveira, M., Santos, M., Lopes de Castro, J., Pereira, A., Silva, J. e Serrano, J. (2016). Tecnologia GNSS de baixo custo para monitorização de ovinos em pastoreio. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(2), 251-260.
- Saraiva, G., Andrade, R. e Souza, G. (2014). Termografia por infravermelho como ferramenta de diagnóstico precoce de estresse hídrico severo em soja. *Agrarian academy, Centro Científico Conhecer*, 1 (2), 158-169.
- Searcy, S. W. (1997). *Precision Farming: A New Approach to Crop Management*. Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System, College Station, TX, 4pp.
- Schaefer, M. T. e Lamb, D. W. (2016). A combination of plant NDVI and LiDAR measurements improve the estimation of pasture biomass in Tall Fescue (*Festuca arundinacea* var. *Fletcher*). *Remote Sensing*, 8(109), 1-10.
- Schellberg, J., Hill, M. J., Roland, G., Rothmund, M. e Braun, M. (2008). Precision agriculture on grassland: applications, perspectives, and constraints. *European Journal of Agronomy*, 29, 59-71.
- Sequeira, E. M. (1997). As pastagens, a nova PAC e o ambiente no Alentejo. *Pastagens e Forragens*, 18, 49-74.

- Serrano, J. M., Peça, J. M., Palma, P. M., Marques da Silva, J. R. e Carvalho, M. (2009). Calibração e validação de um medidor de capacitância num projecto de agricultura de precisão em pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*, 32, 85-96.
- Serrano, J. M., Peça, J. M., Palma, P. M., Marques da Silva, J. R. e Carvalho, M. (2009). Calibração e validação de um medidor de capacitância num projecto de agricultura de precisão em pastagens. *Revista das Ciências Agrárias*, 32, 85-96.
- Serrano, J. M., Peça, J. O. e Shaidian, S. (2011). Evaluation of variable rate technology for fertilizer application in permanent pastures. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 1(4), 489-499.
- Serrano, J., Shahidian, S. e Silva, J. R. (2013). Apparent electrical conductivity in dry versus wet soil conditions in a shallow soil. *Precision Agriculture*, 14(1), 99-114.
- Serrano, J., Peça, J., Silva, J. M. D. e Shahidian, S. (2014). Avaliação de tecnologias para aplicação diferenciada de fertilizantes: novos conceitos de gestão em pastagens permanentes. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(3), 253-269.
- Serrano, J., Silva, J. M. D., Shahidian, S. e Carvalho, M. D. (2015). Variabilidade espacial e estabilidade temporal do carbono orgânico do solo num sistema silvo-pastoril Mediterrânico. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(4), 563-573.
- Serrano, J., Shahidian, S. e Marques da Silva, J. (2016a). Monitoring pasture variability: optical OptRx® crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), 1-17.
- Serrano, J., Shahidian, S. e Marques da Silva, J. (2016b). Calibration of Grassmaster II to estimate green and dry matter yield in Mediterranean pastures: effects of pasture moisture content. *Crop & Pasture Science*, 67, 780-791.
- Stafford, J. V. (2000). Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3), 267-275.
- Sudduth, K. A., Myers, D. B., Kitche, N. R. e Drummond, S. T. (2013). Modeling soil electrical conductivity - depth relationship with data from proximal and penetrating EC_a sensor. *Geoderma*, 199, 12-21.
- Tschiedel, M. e Ferreira, M. F. (2002). Introdução à Agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, 32(1), 159-163.
- Turvey, C. G. e McLaurin, M. K. (2012). Applicability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in index-based crop insurance design. *Weather, Climate and Society*, 4(4), 271-284.

- Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J. e Bulnes, F. G. (2014). Infrared thermography for temperature measurement and non- destructive testing. *Sensors*, 14, 12305-12348.
- Van Soest, P., Robertson, J. e Lewis, B. (1991). Methods ford dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10), 3583-3597.
- Vaz, M., Coelho, R., Rato, A., Samara-Lima, R., Silva, L. L., Campostrini, E. e Mota, J. B. (2016). Adaptive strategies of two Mediterranean grapevines varieties (*Aragones syn. Tempranillo and Trincadeira*) face drought: physiological and structural responses. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 28(2), 205-220.
- Whelan, B. M. e McBratney, A. B. (2000). The “null hypothesis” of precision agriculture management. *Precision Agriculture*, 2(3), 265-279.
- Wrest Park History Contributors (2009). Chapter 4 Field machinery. *Biosystems Engineering*, 103(Suplemento 1), 48-60.
- Zanine, A., Santos, E. e Ferreira, D. (2006). Principales métodos de evaluación de pasturas. *REDVET Revista electrónica de Veterinária*, VII, 1-13.
- Zhang, N., Wang, M. e Wang, N. (2002) Precision agriculture: a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 113-132.
- Zhang X., Shi, L., Jia, X., Seilstand, G. e Helgason, C. (2010). Zone mapping application for precision-farming: a decision support tool for variable rate application. *Precision Agriculture*, 11(2), 103-114.